

KYMIJOKISUISTON RAUTAKUONA

Kokeellisia tutkimuksia Osa I

TIIVISTELMÄ

Kymijokisuiston alueella asutushistorian yleinen kuva on muuttunut voimakkaasti 90-luvulta lähtien tehtyjen tutkimusten myötä. (Miettinen 1999). Muutaman viimeisen vuoden aikana on väliltä Pernaja - Virojoki paikallistettu rautakuonaa peräti kahdeltatoista eri paikalta.

Aiemmin kuonaa on löydetty Suomenlahden pohjoisrannikolta mm. Vantaanjoen varrelta sekä Ilolan Bölestä (Porvoo). Bölen limoniitti- ja kuonalöydöt viittaavat siihen, että raudanvalmistus on voitu hallita paikallisia malmeja käyttäen (KM 12359:95 ja KM 12359:122). Kuonaa ei ole analysoitu tarkemmin metallurgisin menetelmin, joten kyseessä saattaa olla myös sepänpajassa syntynyt pajakuona. Bölen seppä on kuitenkin voinut käyttää perinteistä kuoppa-uunia tai torniuunia. Läheisen Pernajan Malmsbyn esinelöytö tukee edellistä oletusta. Rautakaudelta tunnetaan lisäksi mm. Kemijärven Neitilän, Kajaanin Äkälänniemen ja Ristiinan Kitulansuon sulatusuunien jäänteet. Lisäksi tunnetaan Kokkolan talonpoikaisia kuoppauunin jäänteitä. (Mm. Huurre 1995, Pukkila 1991, Lavento, 1999 ja 2006). Keskiajalta aina 1900- luvun alkuvuosiin kaikki merkittävät raudanvalmistuspaikat sijaitsivat Salpausselän pohjoispuolen järvimalmialueilla. (Lehtinen 1998). Kymijokilaakson valtavat savikerrokset ovat taas estäneet tehokkaasti suurempien rautamäärien saostumisen.

Uusimmista kuonalöydöistä Ahvenkosken Merikoski (KM 36034 Pyhtää Merikoski), Paaskoski (KM 36110 Ruotsinpyhtää Paaskoski sekä Markkinämäki (Ei KM numeroa) liittyivät tämän tutkimuksen piiriin. Pää tarkoitus oli selvittää, onko Kymijokisuistosta löytynyt rautakuona esihistoriaan tai keskiajalle ajoittuvaa pajakuonaa, tai mahdollisesti raudanpelkistyskuonaa? Käytettävissä oli useita metallurgisia tutkimusmenetelmiä sekä analyysien vertaileminen itse tehtyjen pelkistyskokeiden tuloksiin. Kokeilla pyrittiin ennallistamaan ja toisaalta vakiinnuttamaan traditionaalisia raudansulatukseen liittyvä talonpoikainen pelkitysmenetelmä aistinvaraisena prosessina.

Toinen päämäärä oli saada viitteitä siitä, voiko vanhoilla menetelmillä tuottaa myös hiiliterästä tai jopa ylihiilistä wooz- terästä, käyttäen paikallisista malmia ja muita raaka-aineita? Viimeksi mainitut kokeet ulkona keskeytti sateinen syksy ja aikainen lumen tulo. Ne jatkuvat loppuvuodesta ja vuonna 2007. Työ edusti traditionaalisen akateemisen tutkimusotteen sijaan poikkitieteellistä ja käsityöaloille ominaista tutkivaa toimintaa. (Anttila, 2005). Tutkimus täytti kuitenkin eräitä kokeelliselle tutkimukselle asetettavia kriteereitä ainakin toistettavuuden, dokumentaation ja analyysien osalta. On kuitenkin todettava, että tehtyjen analyysien ja tulkin-tojen syventäminen kansainvälisesti vertailukelpoisiksi, edellyttäisi aivan toisen mittaluokan resursseja.

Raportissa pyrin osoittamaan metallurgisten analyysien ja pelkistyskokeiden tuloksin, että Kymijokilaakson rannikolla Pyhtään Ahvenkoskella sekä Ruotsinpyhtään Paaskoskella on harjoitettu raudanpelkistystä. Toinen pyrkimys oli saada selville se, mille aikakaudelle kyseinen toiminta on ajoittunut?

Tietyt seikat Ahvenkosken Merikoskella viittaavat jopa rautakautiseen toimintaan, kun taas lähtöolettaamus oli, että sulatuksia ei olisi tehty järkisyistä vuoden 1696 jälkeen, jolloin lähellä sijaitseva Strömforsin rautaruukki aloitti toimintansa. Tätä ajatusta edelsi jo alkukesästä 2000 Markkinamäeltä löytyneen rautakuonan silmämääräinen arviointi ja hatara arvio, jonka mukaan kuona saattaa liittyä Strömforsin ruukin toimintaan. Nyt näyttää siltä, että myös Markkinamäellä on tehty ainakin yksi sulatus harjoitettu pajatoimintaa.

Kohta projektin alkaessa paljastui, kuinka vaikea tehtävä oli edessä. Keittiön pöydällä oli vain kolmelta eri paikalta löytynyneitä ruosteisia kuonanpaloja. Lisäksi helposti ymmärrettävää aiheeseen liittyvää kotimaista tietoa metallurgian ja arkeologian aloilta oli saatavilla hyvin niukasti. Aiheeseen perehtyminen edellytti muutamiin keskeisiin kansainvälisiin tutkimuksiin perehtymistä sekä metallurgian, että arkeologian menetelmäopintoja, jotka kaikki sopivat erinomaisesti sepänanalan syventäviksi opinnoiksi. Tällä voi perustella ainakin raportissa mahdollisesti olevia epätarkkuuksia ja subjektiivisia tulkintoja.

Kiitokset ***Suomen Kulttuurirahastolle***, jonka myöntämä vuosiapuraha mahdollisti päätoimisen syventymisen aiheeseen.

Ahvenkoskella 6.12.2006

Jouni Jäppinen



Kuva 2. Rautakuonan levinneisyys Suomenlahden pohjoisrannikolla välillä Porvoo - Virojoki. 1- Porvoo - Böle, 2- Ruotsinpyhtää - Markkinämäki, 3- Ruotsinpyhtää - Paaskoski, 4- Pyhtää - Merikoski, 5- Hamina - Neuvoton, 6- Sippola - Hirvelä, 7- Hamina - Kirkkojärvi, 8- Miehikkälä - Purho, 9- Miehikkälä - Salo-Miehikkälä, Virojoki - Vaalimaa. Viron pohjoisrannikon arkeologisesti tutkitut raudanvalmistuspaikat Peetsin mukaan. 11- Ilumäe I, 12- Uuskiila, 13- Ilumäe III, 14- Palasi, 15- Saunakiinka, 16- Rebu, 17- Tarumaa, 18- Mäetaguse - Metskiila, 19- Päite. (JJ)

JOKISUISTON ASUTUKSESTA

Kymijokilaakso on Karjalan ja muun Suomen heimorajaa, jossa kantasuomalaiseen (Saimaa) kulttuuriin on sekoittunut skandinaavisia, balttilaisia sekä karjalaisia kulttuuripiirteitä. Jos New Yorkia pidetään ”kansojen sulatusuunina”, voi Kymijokilaaksoa pitää paikallisena ”heimojen sulatusuunina”. 90-luvulla tehtyjen arkeologisten tutkimusten myötä on selvinnyt, että jokisuisto lohikoskineen on ollut yhtäjaksoisesti asuttua kivikaudelta lähtien tähän päivään. Jokisuistot ovat olleet kalastuksen ja kaupankäynnin kohtaamispaikkoja. Rannikon mesoliittisten asuinpaikkojen piiesineistä on päätelty alkuperäisen asutuksen saapuneen Virosta, mahdollisesti Kundan seudulta (Miettinen, T.1999) tai Mahusta (Selirand 1974). Esimerkiksi Seprakaupan 700 vuoden historiasta voimme päätellä, että vain sodat ovat aika ajoin sotkeneet alueiden välistä meriliikennettä (kuva 2). Pronssikauden alusta lähtien Kymenlaakson rannikolle muutti virolaisen väestön lisäksimyös skandinaavista väestöä, joka toi mukanaan mm. rökkiöhaudauksen.

Läntisen deltan alueella suurin kalmisto on Struka, joka on hautalöytöjen perusteella ajoitettu nuoremmalle rautakaudelle, n. 200-luvulle. Kahdeksan rökkiöhaudan perusteella voi olettaa, että kysymys ei ole ollut vain ohikulkijoiden hautaamisesta, vaan lähistöllä on todennäköisesti sijainnut rautakauden kylä. (Miettinen 1999) Potentiaaliset asuinpaikat ovat ehkä jääneet Vähä-Ahvenkosken ja Pyhtään kirkonkylän alle, tai sijaitsivat yläjuoksulla, mahdollisesti Viirilän kulmilla.

SULATUSUUNI VAI AHJO

Ahvenkosken raudansulatusuuni (KM 36034 PYHTÄÄ MERIKOSKI) sijaitsee moreenitasanteen etelärannalla suuren, noin 6 m pitkän siirtolohkareen eteläseinustan juuressa (kuvat 3 ja 5). Kiven eteläseinämä on pystysuora ja viettää muutaman asteen viistosti sisäänpäin. Kiven juuressa on 0,4 x 0,8 x 1,5 m kiveys seinämän suuntaisena ja sen päällä on kaksi kantoa. Myös muiden maastamme löydettyjen uuninraunioiden päällä on havaittu kasvaneen suuria puita. (Lavento 2006). Hiili ja sulatuksessa syntynyt tuhka on levinnyt ympäristöön ja



Kuva 3. Ahvenkosken uuni sijaitsee yli 10km pitkän aavan merenlahden pohjukassa suuren siirtolohkareen juurella 7 m korkeudella. Paikka on erittäin altis tuulille. (JJ)

lannoittanut maan. Uunin raunio sijaitsee tuulelle alttiin Ahvenkoskenlahden pohjukassa 7 m korkeudella (Nygård 2006) ja se on sijaintinsa puolesta voinut toimia tuulen avulla (Lavento 2006). Ajatus on mielenkiintoinen sillä tuulella toimivista uuneista on Itämeren piiristä löytynyt viitteitä vain Liettuan rannikolta. Tuuliuunien konstruktioita on tutkittu verraten vähän, tietoa on kertynyt lähinnä joistakin vapaavetoisista rakenteista. Yleensä tällaiset uunit ovat olleet huomattavasti tyypillistä palkeilla toimivaa torniuunia korkeampia. Seppä on voinut rakentaa esim. puusta ja eläintentaljoista jonkinlaisen suppilon, jota käännettiin tuuleen ja joka ahtimen tavoin kiihdyttää ilmavirtauksen kohti tasaisesti kapenevaa puhallussuutinta (kuva 4). Tällainen malli olisi kuitenkin hyvin epäkäytännöllinen verrattuna palkeisiin. Tiedämme, että moni hyvä keksintö on usein hyvin vanha ja esim. Tanskasta on löydetty noin 2000 vuotta vanhojen puhalluspalkeiden jäänteet.



Kuva 4. Ahvenkosken uuni on saattanut olla tuulikäyttöinen jolloin yli 10 m/s tuulella puhallus on voitu ohjata suuttimeen nahkaisen suppilon avulla. (JJ)



Kuva 5. Siirtolohkareen symmetrinen muoto houkuttelee pohtimaan erilaisia kateratkaisuja. Uuninraunio sijaitsee aivan jyrkän seinämän alla ja sen päällä kasvaa isoja kantoja. (JJ)

Rauta on tuolloin ollut erittäin mullistava keksintö ja sepän kekseliään mielenlaadun tuntien ei ole kovin vaikea kuvitella, että hän olisi kehitellyt minkä tahansa toimivan konstruktion, saadakseen aikaan tarvitsemansa määrän rautaa. Mielestäni uunin sijaintipaikka on erikoinen ja tuulelle altis ja se voi merkitä vain kahta asiaa (kartta 1). Rautaa on sulatettu tuuliuunin avulla tai sitten kyseessä on vain tilapäispaja ja yhden kesän aikana tapahtuneet sulatukset/ taonta. Paikalla on voitu tehdä rautaa ja taottu tarvikkeita esimerkiksi laivan korjausta tai kalastuslaitoksia varten.

RAUTAKUONA

Pelkistyksessä syntynyttä rautakuonaa on hyvin hankalaa erottaa tavallisesta paja-kunasta (Keränen 1991, Pukkila 1991, Lehtinen 2005, Buchwald 2005). Erottelussa voidaan käyttää useita eri menetelmiä, kuten luokittelu ulkomuodon, värin ja löytöympäristön muiden ominaisuuksien perusteella tai metallurgisia analyyseja.

Kuona syntyy rautamalmin sisältämän sivukiven, uunin materiaalien ja mahdollisen juoksutteen (kalkki) ja erilaisten epäpuhtauksien sulaessa massaksi. Mitä vähemmän epäpuhtauksia esiintyy, sen vähemmän syntyy kuonaa. Näissä pelkistyskokeissa käytetty Ahvenkosken rautamulta tuotti hyvin vähän kuonaa, jolloin on vaarana rautasienen liiallinen hapettuminen.

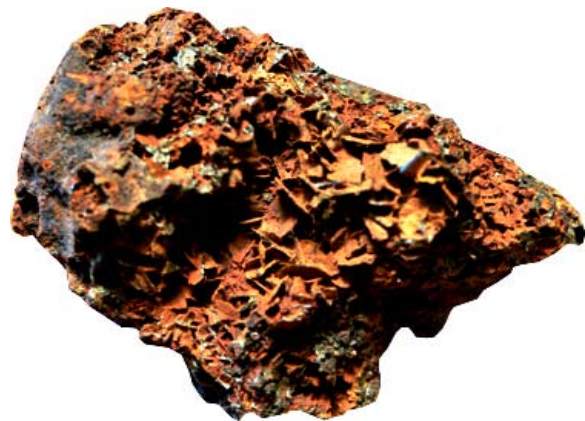
Limoniitti taas tuottaa sopivassa määrin kuonaa, mutta sen sisältämä fosfori aiheuttaa korkeissa uuneissa, kuten rautahyteissä pelkistettäessä haurautta ja rauta saattaa olla vaikea taottava tai halkeilla pahoin. Esihistoriallisissa ja talonpoikaisissa kuoppauuneissa fosfori liukenee kuonaan eikä rautaan.

Kuona muodostuu silikaateista, jonka rakennusaineita ovat wüstiitti (FeO), kalsiumoksidi (CaO) sekä kvartsi/maasälpä. Lisäksi kuonaan liukenee malmista erilaisia seosaineita ja oksideja. Talonpoikaisin menetelmin syntyneen rautakuonan silikaattiyhdisteitä ovat yleisimpänä fayaliitti Fe_2SiO_4 tai $2\text{FeO} + \text{SiO}_2$, pyrokksiini $\text{FeO} + \text{CaO} + 2\text{SiO}_2$ tai $\text{FeOCaSi}_2\text{O}_6$. (Keränen 1991). Kvartsia SiO_2 esiintyy fayaliittikuonassa, jonka silikaattipitoisuus on korkea. Oksideista wüstiittiä esiintyy eteenkin talonpoikaisessa kuoppauunikuonassa FeO . Magnetiittia Fe_3O_4 esiintyy yleensä wüstiittipitoisissa kuonissa. Harvinaisempaa hematitiä Fe_2O_3 esiintyy kuonassa, joka on syntynyt erityisen hapettavissa olosuhteissa. Lisäksi kuonassa on yleensä paljan silmin tai valomikroskooppissa erottuvaa metallista rautaa Fe , jota esiintyy suurimmaksi osaksi vain pelkistyskuonissa. Rautahiukkasia voi kuitenkin esiintyä pienissä määrin myös talonpoikaisessa pajakuonassa, joka on syntynyt ahjohitsauksesta. Periaatteessa torniuunissa syntynyt kuona sisältää huomattavasti vähemmän wüstiittiä sillä kuoppauuniin verrattuna malmi kulkee pidemmän matkan, pelkistymisen ollessa näin tehokkaampaa. Torniuunissa voi samasta syystä syntyä myös hiiliterästä.

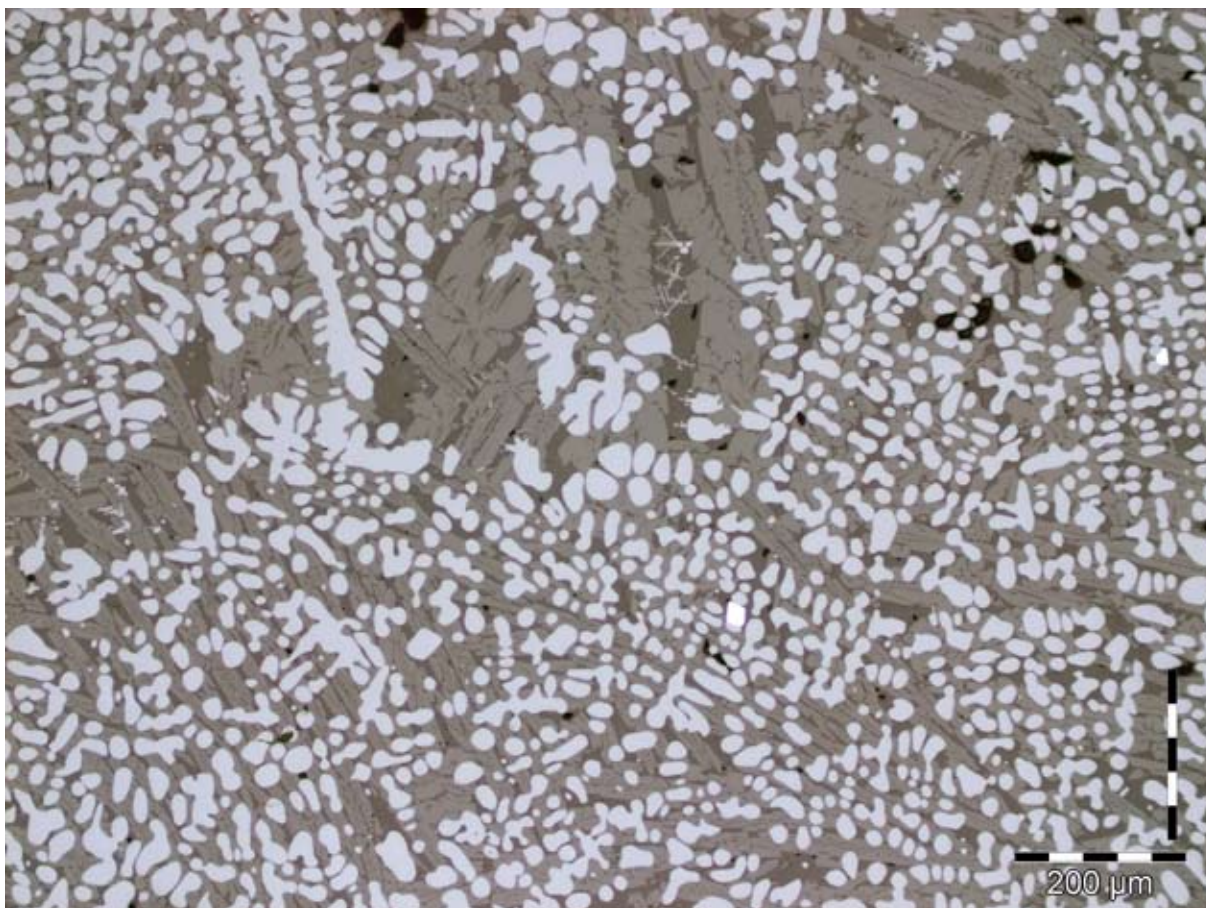
AHVENKOSKEN KUONA

Metallurgisesta tutkimuksesta ja analyyseista saatavan informaation avulla voidaan tutkia raudansulatuskuaa ja periaatteessa se on ainoa pätevä tapa erottaa kuona tavallisesta sepänpajan kuonasta. Samantyyppistä kuonaa voi nimittäin syntyä sekä raudasulatuksessa,

että sepänpajassa ahjohitsauksen ja myös hiilletuksen yhteydessä. Maamme järvi-malmialueilla erottelu on helppoa sillä raudansulatus on yleensä tuottanut kuonaa kuutiometreittäin verrattuna normaaliin pajatoimintaan. Joskus kuona on voinut levitä laajalle alueelle esimerkiksi peltotöiden yhteydessä. Prosessi löydettiin todennäköisesti kuparinsulatuksen yhteydessä pronssikauden lopulla. Esimerkiksi Sardiniasta on löydetty kupariuuni, jonka kuona on "magneettista kuparia" (Peets 2003). Sulatuksessa on pelkistynyt ja sulannut puhdasta kuparia, jossa on seassa rautaa. Suorassa raudanpelkistyksessä on prosessi mahdollinen myös toisinpäin eli suureen rautasieneen voi pelkistyä ja sekoittua puhdasta kuparia. Tämän tutkimuksen pelkistyskokeissa käytettiin vain Ahvenkosken rautamultaa ja siinä on kuparia häviävän vähän. Rautakuona muodostuu suhteellisen yksinkertaisesti rautaoksidin, piin, hiilen ja hapen yhdisteistä. Ensiksi rautaoksidi pelkistyy noin 500°C lämpötilassa hiilimonoksidin avulla $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$; $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ ja sen jälkeen alempana uunia $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{CO} = 6\text{FeO} + 2\text{CO}_2$; $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$, sekä lopuksi kuonan muodostuminen $\text{SiO}_2 + 2\text{FeO} = 2\text{FeO} \times \text{SiO}_2$ fayaliittikuonaksi ja FeO wüstiitiksi, erityisesti saviuuneissa myös anordiitiksi $\text{CaAl}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2$.



Kuva 7. Rautakuonan sisään on kasvanut levymäisiä rautaoliiviinikkeitä Fe_2SiO_4 . (JJ)



Kuva 6. Valomikroskooppikuvassa näkyy Ahvenkosken jäähtyneen kuonan rakenne. Al-, Mg-, Mn- ja Ca-pitoiseen kuonaan on kiteytynyt rautaoliviinilameleita sekä pääasiassa primaarista wüstiittia (vaalea). Kuvassa näkyy kolme puhdasta metallista raudan faasia (valkoiset rakeet) sekä tummempaa magnetiittikuonaa. Näyte on magneettinen ja sitä voi pitää analyysien valossa sulatuskuonana. (Kuva: Ruukki Production Oyj)

Ahvenkosken kuona on voimakkaasti ruosteista ja joidenkin kimpaleiden kuoren alle on jäähtynyt levymäisiä kiteitä (kuva 7). Röntgendiffraktogrammi analyysi osoittaa, että kiteet ovat fayaliittia ("rautaoliviini", Fe_2SiO_4). (Analyysi: HY/ Lehtinen, M. 2.10.2005). Fayaliitti on suhteellisen tavallinen aine synteettisissä ja raudanvalmistukseen liittyvissä tuotteissa. Sen sulamispiste on 1025°C , mutta eräissä binäärissä ja ternäärissä systeemeissä fayaliittia voi kiteytyä alhaisimmissa lämpötiloissa. Fayaliitti - magnetiitti - systeemin eutektinen piste eli sulamispiste on 1142°C ja ternäärisen systeemin fayaliitti (Fe_2SiO_4) - tridymiitti (SiO_2) - albiitti ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) eutektinen piste on niinkin alhainen kuin 980°C . Kiteytymisnopeus vaihtelee riippuen prosessin olosuhteista, se voi tapahtua muutamassa tunnissa tai päivien aikana. (Lehtinen 2005).

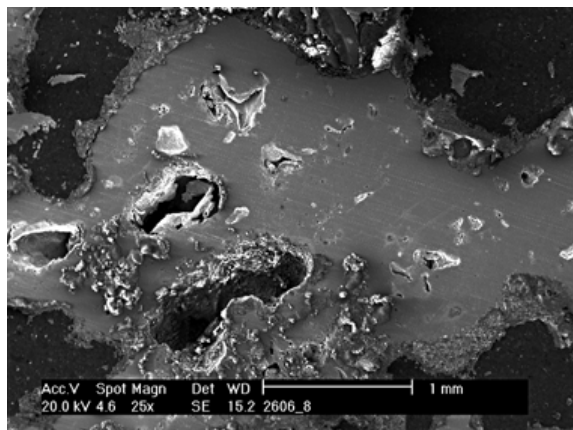
Analysoitavista näytteistä Ahven 2 kirkkain faasi on puhdasta rautaa, niitä näkyy 3 kpl edellisen sivun kuvassa (kuva 6). Seuraavaksi tummin faasi on wüstiittia (FeO). Tummat faasit ovat todennäköisesti kalسيوم-pii- alumiini pitoisia yhdisteitä, mutta koostumusta on valomikroskooppikuvasta mahdotonta ennustaa. (Ruukki 2006). Näytteestä voidaan kuitenkin nähdä, että se on suhteellisen tasalaatuista wüstiittia (kuva 6), mikä on tunnusomaista pelkistysprosessille. Pelkistyminen on jostain syystä keskeytynyt ja prosessi on edennyt vain wüstiittiin asti, eikä kuona todennäköisesti sisällä kolmen arvoista rautaa. Käytetyissä analyyseissä ei pystytty havaitsemaan magnetiittia. Rakenteesta tai pitoisuuksista ei myöskään käynyt suoraan ilmi, mitä malmia on raudanvalmistukseen käytetty,

mutta tiettyjä korrelaatioita löytyy malmin ja kuonan alkuaineanalyysistä vertailemalla. Ahvenkosken kuona on lähinnä rautaoksidia ja hiiltä, mutta siitä löytyy myös piitä ja noin 1% alumiinia Al, mangaania Mn, magnesiumia Mg, kalsiumia Ca sekä vähän rikkiä.

Eräiden kuonakappaleiden poikkileikkaus viittaa siihen, että sulatuskokeet on tehty matalahkossa kuoppauunissa (kuva 9), mutta täysi varmuus siitä saadaan vasta arkeologisten kaivaustutkimusten myötä. Kuonaan on jäänyt myös pienikokoisten puuhiilten painaumuksia (n. 10-15mm). Hiilet on seulottu verrattain pienikokoisiksi ja tehtyjen kokeiden perusteella se edistää tasaisen kaasutilavuuden syntymistä sulatusuuniin, kun taas hienojakoisin aines muodostaa ”hiilimujua” ja estää pelkistymisen aiheuttamalla toispuoleisia virtauksia. Ahvenkosken kuonaan jähmettymisvaiheessa tarttunut hiili on muutamia mikroskooppisen pieniä hiukkasia lukuun ottamatta hävinnyt kokonaan, mikä voi viitata vanhempaan kuin keskiaikaiseen toimintaan.

AHVENKOSKEN TERÄS

Varmin todiste raudanpelkistyksestä on kuonan sisältä löytynyt epämuotoinen ja pienehkö ”rautasieni” (25x42x48 mm / 85g), joka myöhemmässä analyysissä osoittautui hiiliteräkseksi (kuva 10). Teräksen perusrakenne on perliittiä ja raerajoilla on ferriittiä



Kuva 8. Kuona oksidoituu muodostaen hapen kanssa rautayhdisteitä ja muuttuen lopulta magnetiitiksi. (TTY)



Kuva 9. Ahvenkosken uunin pohja on tampattu savipitoiseen moreeniin paksulla puupölkyltä tai pyöreän kiven avulla. (JJ)

sekä sementtiittiä ja se sisältää runsaasti kuonasulkeumia. Rakenteissa on piirteitä, joista voi päätellä teräksen jäähtyneen suhteellisen hitaasti mutta nopeammin kuin ”uunin mukana” (kuva 11). Hitaan jäähtymisen seurauksena austeniitista on muodostunut hienolamellista perliittiä. Käytännössä se tarkoittanee sitä, että puhalluksen jälkeen seppä on nostanut uunin pohjalta koko kuonakakun ulos ja se on jäähtynyt sellaisenaan ilmassa.

Kuona on rikottu jäähtymisen jälkeen muutamaksi kappaleeksi, mutta ainakin tutkittu teräksen pala on jäänyt jostain syystä piiloon. Kappale on kuitenkin suhteellisen tiiviiksi sulanut ja se olisi riittänyt helposti esimerkiksi 10 cm pitkän puukonterän raaka-aineeksi. Analyysissä voitiin valomikroskooppilla havaita (1,5 % HNO₃ / etanoli), että hiili on eri puolilla näytettä epätasaisesti jakautunutta, rakenteen vaihdellessa niukahiilisen raudan ja korkeahiilisen teräksen välillä. Elektronimikroskooppilla teräksestä ei löytynyt muita aineita. (Perttula 2006). Hiilen epätasaisuus merkitsee sitä, että kappaleella ei ole muokattu takomalla. Löydetyn teräsenkappaleen muoto on tyyppillinen hyvin onnistuneelle pelkistykselle. ”Sienen” pieni koko viittaa pienikokoiseen uuniin ja puhallussuuttimeen, halk. mahdollisesti 10-15 mm, tai korkeintaan 20 mm. (Lavento 2006). Esim. Virossa tutkittujen suuttimien halkaisijat vaihtelivat 1200-luvulla noin 35 - 45mm välillä.



Kuva 10. Ahvenkosken teräksessä perliittirakeiden ympärille on kiteytynyt ferriittiä ja sementiittiä kerroksittain. Teräs on jäähtynyt hitaasti ja sen hiilipitoisuus vaihtelee runsaasti välillä C 0,2-0,8%. (Kuva: Ruukki Production Oyj)

Vuonna 2004 Strukan puhalluskokeissa savesta muuratun torniuunin suuttimen halkaisija oli 38 mm (Jäppinen 2005). Kuonan vähäinen määrä viittaa siihen, että seppä on tehnyt 3-5 pienimuotoista puhallusta, mahdollisesti ne ovat olleet luonteeltaan kokeiluja. Kuonan seassa on useita muita pienempiä matalahiilisen raudan kappaleita, sekä kipinäkokeen perusteella jopa C 1 % teräksen kappaleita. Tehtyjen pelkistyskokeiden perusteella korkeahiilistä terästä syntyy aina jonkun verran puhallussuuttimen alle. Pääosa "sienestä" on kuitenkin matalahiilistä rautaa tai niukkahiilistä terästä. Esim. vuonna 2004 malmina käytettiin noin 70 % hemattiittia sekä magnetiittia ja syntyneet terässienet olivat hiilipitoisuudeltaan ylihiilisiä C 1,3 %. Raudanpelkistysprosessi on hyvin monimutkainen hallita ja sekä pelkistymiseen, että raudan hiillettyymiseen vaikuttavat monet seikat, kuten säätila, ilmankosteus, maaperän kosteus, malmin rikastaminen etukäteen, käytettävän puuhiilen

puhtaus ja tasalaatuisuus, uunin materiaalit ja mittasuhteet, puhallusilman määrä litroina, puhallusteho, saavutettu lämpötila jne., vain muutamia mainitakseni...

MILLOIN

Uunin takarajaa voidaan alustavasti tarkastella rannansiirtymäkäyrältä, joka perustuu paikallisten järvien sedimenteistä (piilevät) tehtyihin radiohiiliajoituksiin (Pajunen 2000, Miettinen 2002). Sen mukaan uunia ei ole voitu pystyttää ainakaan ennen vuotta 500 eaa sillä tasanne on ollut silloin veden alla. Arvio on karkea, koska se ei ota huomioon paikallisia maan nousun vaihteluita. Ennen Ahvenkosken uunin ajoituksia on ehditty ajoittaa Haminan Kirkkojärven koillisrannalta löytynyt rautakuona viikinkiajalle, noin vuoteen 850-1070 jaa sekä Virojoen Vaalimaan rautakuona uuden ajan alkuun 1450-1600 jaa.



Kuva 11. Pelkistynyt rauta/teräs on huokoista, pala on jäähtynyt fayaliittikuonan sisään ja jäänyt sepältä huomaamatta. Hidas jäähtyminen viittaa siihen, että pelkistys on tehty kesällä. (JJ)

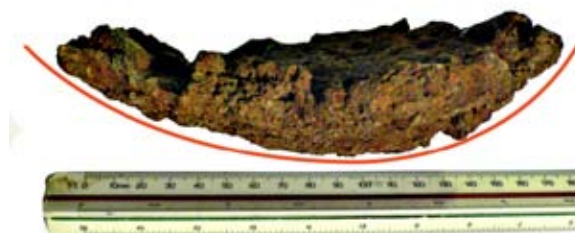
Ahvenkosken ja Paaskosken kohteiden hiilinäytteistä tehtiin tammikuussa 2007 C14 puoliintumisaikaan (5568v) perustuva kalibroitu $\delta^{13}\text{C}$ ajoitus. Paaskosken tulokset osuvat välille 1475AD - 1650AD ja Ahvenkosken Merikosken näyte välille 1455AD - 1640AD, molemmat 95,4 % todennäköisyydellä. Tiettyjen virhelähteiden, kontaminaatioiden mahdollisuus on tästä huolimatta olemassa ja täysin spesifi ajoitus on mahdollista saada vain tulevaisuudessa tehtävien kaivaustutkimusten perusteella. Huomion arvoista on se seikka, että vaikka ajoitusten ero on yleisen marginaalin sisällä häviävän pieni, on Ahvenkosken analysoidusta kuonasta pintaan tarttunut hiili kokonaan liuennut pois, kun sen sijaan Paaskosken näytteistä löytyy jopa 6-10 mm suuruisia hiilenpalasia jäähtyneeseen kuonaan kiinnittyneinä.



Kuva 12. Ahvenkosken kerroksittain jäähtynyttä kuonaa, joka on sulanut ilmeisesti pyöreäpohjaisessa uunissa/ahjossa. (JJ)

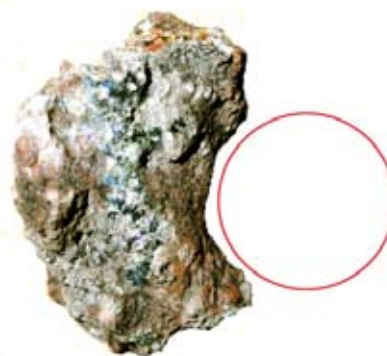
PAASKOSKEN KUONA

Paaskosken ahjo/uuni sijaitsee entisen Paaskosken länsirannalla rantatasanteella noin 12 m korkeudella. (KM 36110 RUOTSIN-PYHTÄÄ, PAASKOSKI). Kosken rannoilta löytyy asutuksen jäänteitä myöhäisneoliittiselta kivilaudelta lähtien pronssikaudelle (Miettinen 1998/ Koirankallio). Koskessa oletetaan sijainneen pysyviä kalastuslaitteita jo varhaiskeskiajalta tai viimeistään keskiajalta lähtien.



Kuva 13. Paaskosken kuonakappale on ahjon tai kuoppauunin niin sanottu "pohjakakku". (JJ)

Paaskosken rautakuonan pintahilse on pääosin rautaoksidia (ks. kuva 59). Kahden kuonakappaleen profiilin poikkileikkauksesta voi päätellä, että kuona on peräisin kuoppauunista tai ahjosta (kuva 13). Kuonaan on jäähtynyt karkeaa hiekkaa, joten kuoppa on tampattu todennäköisesti suoraan savipitoiseen moreeniin. Lähelle puhallussuuttimen oletettua paikkaa on sintraantunut savea, joka on mahdollisesti peräisin puhallussuutimesta tai niin sanotusta sivukivestä (kuva 14). Saman tyyppisiä savea muotoiltuja sivukiviä on käytetty mm. Pohjois-Virossa Tarumaalla (Peets 2003) sekä Skandinaviassa jo rautakaudelta lähtien.



Kuva 14. Yksi Paaskosken kuonakappaleista voi olla osa ns. sivukiveä, tai erillisen puhallussuuttimen osa. Se voi myös olla esim. pyöreän palkeen suuttimen painauma puolislusaan kuonaan. (JJ)

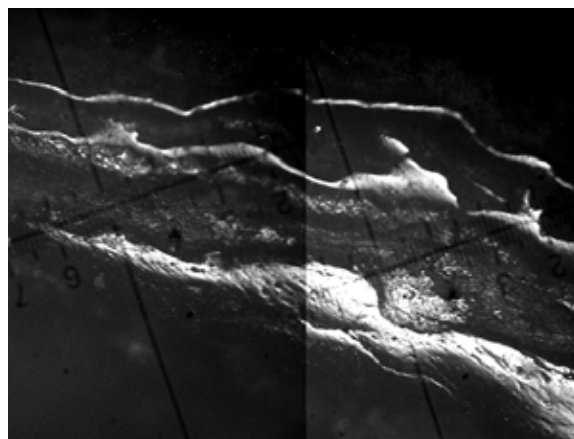
Paaskoskelta löytyy sekä pajakuonaa, että raudansulatuskuonaa (kuva 22). Erään kuonanäytteen koholla oleva Ni- pitoisuus (n. 0,2 %) viittaa siihen, että se voisi olla pelkistetty tuontitavarasta (Nygård 2007). Vaikuttaa siltä, että Paaskoskella on sijainnut sepänpaja.

PAASKOSKEN TERÄS

Paaskosken tasanteen kuonan seasta löytyneet teräksenkappaleet ovat artefakteja (kuva 18). Niistä analysoitiin tarkemmin kahta näytettä, joista ensimmäinen vaikuttaa lattateräksen kappaleelta, joka on katkaistu molemmista päistään taltalla (kuvat 15 ja 18). Kuvan 15 näyte on kauttaaltaan paksun ruostehilseen peittämä. Rakenne on isorakeista perliittiä, jossa raerajoilla on ferriittiä sekä raerajoilta keskioön päin Widmanstättenin ferriittiä (kuva 17). Teräs on rautaoksidin ympäröimä, lähimpänä ydintä wüstiittiä ja uloimpana magnetiittiä. Jos näytteessä on hematiittiä, niin se on aivan ohuena kerroksena uloimpana. Valomikroskoopilla sitä ei pystytty kyseisestä näytteestä määrittämään (Ruukki 2006). Korroosio on syövyttänyt terästä voimakkaasti kerroksittain (kuva 16). Kerroksellisuus johtuu puhdistusvasaroinnin seurauksena litistyneistä kuonasulkeumista, joita pitkin korroosio on päässyt etenemään teräksen sisään. Vasarointi aiheuttaa energiatasapainotilan poikkeamia, joissa voimakkaammin lyötyjen kohtien vapaaenergiataso on korkeampi ja niihin muodostuu silloin anodisia alueita ja näin syntyy riittäviä potentiaalieroja, jotka mahdollistavat korroosioparin syntymisen joko teräspalaan itseensä, tai maaperän ja teräspalan välille.



Kuva 15. Paaskosken "latta" on katkaistu taltalla. Todennäköisesti kalansäilytyksessä käytetty suola on imeytynyt maaperään ja edistänyt korroosiota. (JJ)



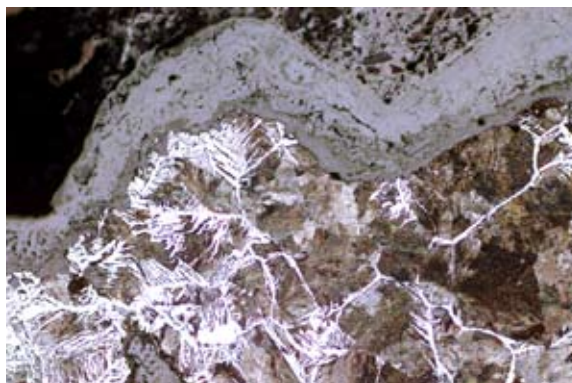
Kuva 16. Paaskosken teräs on syöpinnyt kerroksittain. Todennäköisimmin kyseessä on puhdistusvasaroinnissa litistyneitä kuonasulkeumia pitkin umpiteräksen sisään edennyt rakokorroosio. (JJ)

Anodiksi muuttunut kohta alkaa liueta, ionien kuljettaessa galvaanista sähkövirtaa elektrolyyttiä pitkin katodiselle alueelle. Nopeuteen vaikuttavat aika ja maaperän koostumus, sen happipitoisuus ja hapen läpäisykyky. Lisäksi syöpymisen voi käynnistää jokin mikrobiologinen prosessi. Syöpymiseen vaikuttavia tekijöitä voivat olla myös eri taontalämpötilojen seurakseen pintaan syntyneet erilaiset yhdisteet, pintakerrosten kiderakenteen rajapintojen erot, happamuuden pH- arvo, hapetus-pelkistyspotentiaali, rikin sulfidipitoisuudet ja vesipitoisuus.

Mahdollisesti myös Paaskosken lattateräs on pelkistetty löytöpaikallaan ja alunperin hitsattu ahjossa useista pienemmistä kappaleista ja syöpyminen on käynnistynyt saumojen kohdalta raerajakorroosiona. Jatkossa tätä mahdollisuutta tutkitaan tarkemmin. Valomikroskoopilla teräksen rakenne näyttää siltä, että palaa on joka tapauksessa taottu. Taonta on kuitenkin ollut suhteellisen vähäistä, koska hiilipitoisuus ei ole tasoitunut. Nähtävissä on niukkahiilistä rautaa ja pinnassa kaistale korkeahiilistä terästä. Elektronimikroskoopilla ei löydetty muita aineita kuin rautaa (Perttula 2006). Terästä ympäröi oksidikerros, joka vastaa metallin koostumusta paitsi, että siinä on happea. Kuonalle tyypilliset ainesosat puuttuvat, mikä osaltaan tukee käsitystä siitä, että metallinpala on jatkojalostettua rautaa/terästä eli kankirautaa.

Tasanteelta on löytynyt myös muita selvästi sepän takomia esineitä, kuten nauloja ja poikki lyötyjä naulankantoja sekä artefakti, jonka käyttötarkoitus ei täysin selvinnyt (kuvat 18-19). Esine muistuttaa hieman kahden käden miekan kourainta. Röntgenkuvan mukaan kappale on epämääräinen, mutta symmetrinen ja muistuttaa hieman oksa-soljen päätä. Valomikroskoopissa näkyy n. 6 mm syvyydeltä pinnasta korkeahiilistä perliittistä terästä (Jäppinen 2006). Esineeseen on lyöty ulkonema ja siihen on muotoiltu taivutus, aivan kuin seppä olisi “lyönyt eteen” valmistaessaan kirveen silmää. Teräksen muoto on paksun oksidikerroksen alla epämääräinen ja täynnä sulkeumia.

Esine voi olla myös pienen kirveen aihio, joka on taottu suoraan pelkistetystä rautasienestä. Toisesta sivusta on lyöty taltalla kaistale vinottain irti ja se osoittaa, että myös tätä esinettä on käytetty raaka-aineena. Esinettä säteilytettiin esineen paksuudesta johtuen suurella teholla (EVTEK/ 80 KV/ 5 min/ 5 mA). Röntgenkuvassa näkyvä väkäs-muoto voi olla myös puhtaasti korroosion aiheuttamaa. Metallin sisällä on runsaasti pieniä kuonasulkeumia, jotka ovat tyypillisiä suorassa pelkistyksessä syntyneelle rauta- tai terässienelle. Esine on jostain syystä jäänyt ahjoon kovaan kuumuuteen, josta merkkina pinnalla on noin 1050 C° lämpötilassa lasittunutta oliviinia. Terästä ympäröivään kuonassa on myös hiilenpalasia, joka osoittaa esineen jäähtyneen kuop-



Kuva 17. Paaskosken teräspalaa ympäröi paksu oksidikerros, jonka alla on korkeampihiilistä terästä ja neulasmaista Widmanstättenin ferriittiä, mutta syvemmällä ytimessä niukkaahiilistä terästä. (Kuva: Ruukki Production Oyj)

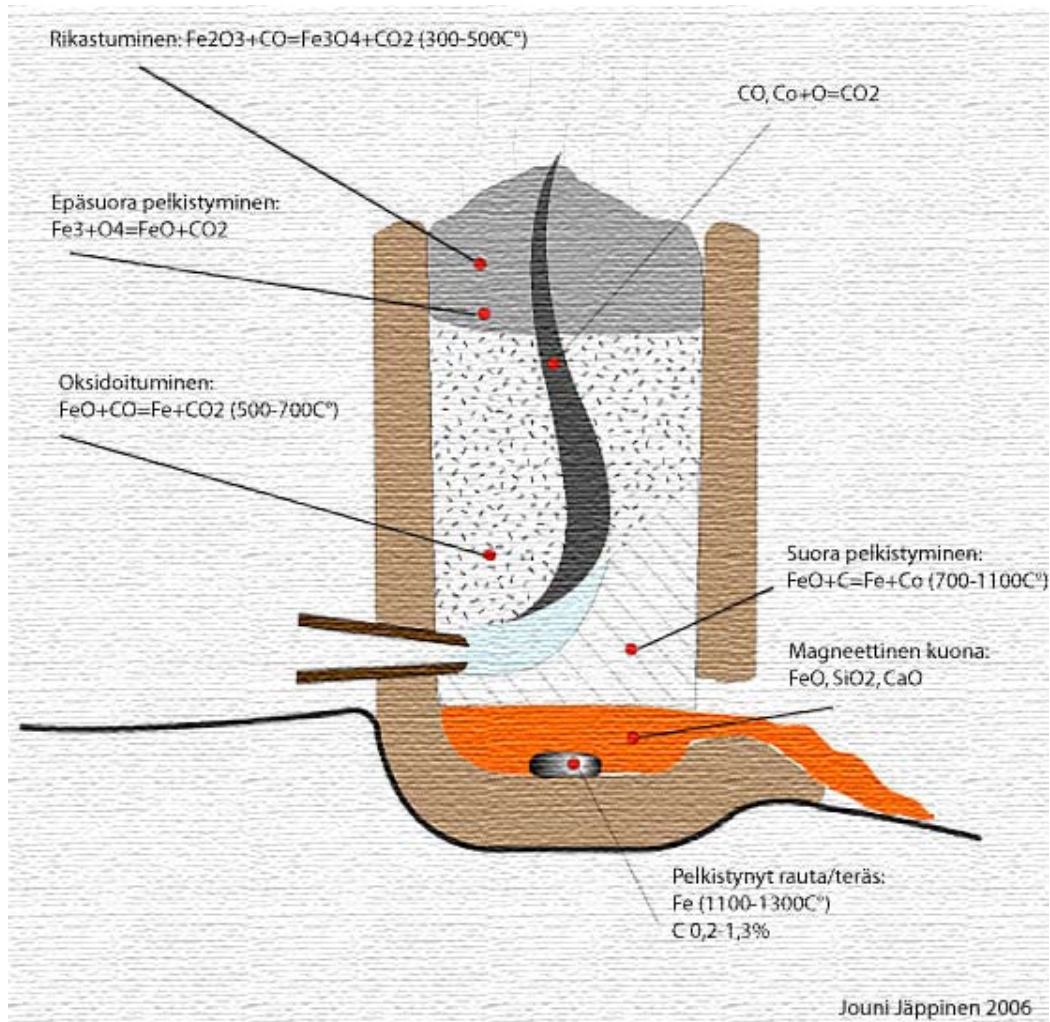
pauunin/ahjon pohjalla. Yleensä vanhojen pajojen ympärillä on kasapäin rautaa ja ei ole relevanttia ryhtyä pohtimaan sitä, miksi esine on jäänyt maaperään. Sepälle on voinut tulla kiire johonkin kesken takomisen. Muut esineet, kuten naulat ja taltalla poikki lyödyt “raaspiikin” kannat viittaavat siihen, että myös isoja nauloja on käytetty raaka-aineena. Paaskoskella on voinut sijaita rakennuksia ja puisia kalastuslaitteita. Yhteen kuonakappaleeseen on sintraantunut palanutta savea, ja siitä voitiin harkita termoluminenssiajoitusta. Tarkkuus tässä menetelmässä, joka mittaa palaneen materiaalin säteilytasoa on noin kymmenen prosenttia. Se tarkoittaa kahden tuhannen vuoden janalla noin +/- 100 v. Savea ei kuitenkaan ollut riittävästi ja absoluuttinen ajoitus saadaan yhteen ns. pohjakakkuun sekä kirveenaihioon tarttuneista hiilenpaloista radiohiiliajoituksella.



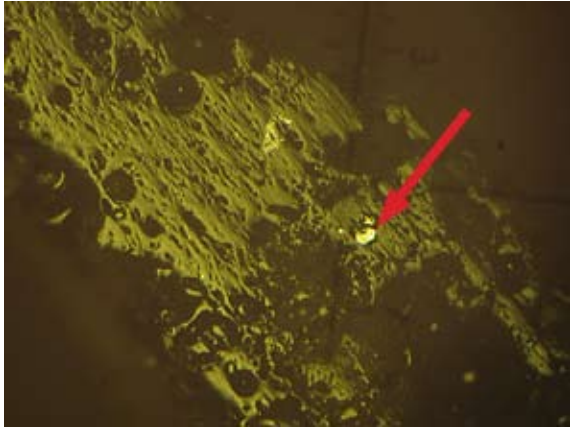
Kuva 18. Paaskosken “kirves” on litistetty todennäköisesti pienikokoisesta rautasienestä. (JJ)



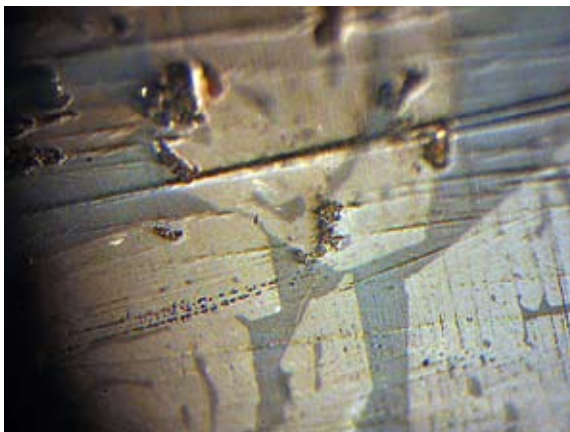
Kuva 19. Röntgentutkimus ei tuonut yksiselitteistä vastausta kysymykseen, mikä esine on? (Kuva: EVTEK)



Kuva 20. Raudan suoraa pelkistymistä torniuunissa kuvaa oheinen kaavio. Prosessia voi kuvata yksinkertaisesti siten, että sen tarkoitus on erottaa rautaoksidiin sitoutunut happi raudasta, jolloin jäljelle jää puhdas metallinen rauta. Samalla malmista irtoaa sivukivi muodostaen kuonaa. Uunin yläosassa malmi rikastuu eli siitä poistuu kidevettä ja siellä tapahtuu myös epäsuoraa pelkistystä. Jos prosessissa käytetään kalkkia, syntyy myös kalsiumoksidia ja hiilidioksidia ($\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$) ja sen jälkeen kalkki yhtyy kiviainesten kanssa muodostaen silikaatteja ($\text{CaO} + \text{SiO}_2 = \text{CaSiO}_3$). Malmi reagoi hiilen palamisesta ($\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}$) syntyvän hääkäasun kanssa ($\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$) ja osa rautaoksidin hapesta poistuu. Varsinainen rautaoksidin pelkistyminen tapahtuu 550-1050 °C välillä ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 2\text{Fe} + 3\text{CO}$ ja $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} = 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$). Samalla syntyy sivukiven kuonaa esim. ($\text{CaO} + \text{SiO}_2, \text{FeO}, \text{CaO}$ ja SiO_2). Normaalisti suorassa pelkistyksessä rauta pelkistyy hiukkasmuotoon, mutta riippuen puhallustehosta ja muista olosuhteista, voi rauta sulaa suuttimen alla suhteellisen yhtenäiseksi ja tiiviiksi raudan/ teräksen kappaleeksi. Tällöin lämpötila voi nousta reippaasti yli 1400 °C, jolloin raudan hiilipitoisuus nousee nopeasti hiilen siirtyessä rautaan liukenemalla. Silloin voi syntyä perliittistä hiiliterästä ja kun hiilipitoisuus nousee yli 1,3 %, alkaa raerajoille kehittyä sementtiititkarbidia. Hiilipitoisuus voi nousta tietyillä uunitypeillä aina 1,7 % pitoisuuteen, mutta se edellyttää traditionaalisesta uunityyppistä tai harkkoyhtististä poikkevia rakenteita. Edellämainittu lämpötilan nousu vaatii tehokkaan puhaltimen käyttöä.



Kuva 21. Salo-Miehikkälän ei- magneettista sulanutta fayaliitti- kvartsikuonaa, jossa näkyy kolme mikroskooppista puhtaan raudan hiukkasta. Kuona vaikuttaa sepänpajan ahjohitsauskuonalta. (JJ).



Kuva 22. Paaskosken kuonaa, jossa fayaliitti on kiteytynyt lasimaiseen amorfiseen matriisiin. (JJ).



Kuva 23. Markkinamäen kuonaa, jossa ruskean rautaoksidin alla näkyy yli 1300 C° lämpötilassa sulanutta kalsiumpitoista maasälpä- kvartsia, joka on todennäköisesti kalsiumoksidin vihertäväksi värjäämää. (JJ)

Vain metallurgisin tutkimuksin voidaan tarkasti osoittaa, millaisesta prosessista kuona on syntynyt. Tehtyjen hitsauskokeiden ja puhdistustaantaan liittyneiden kokeiden perusteella nähtiin, että pienenkin kenttäahjon pesään voi syntyä 3-4 cm paksuinen kerros sulanutta kvartsikuonaa tunnissa. Kuonan sekaan ei ehdi liueta sellaista määrää rautaa, etteikö eroa huomaisi valomikroskoopissa. Toisaalta esim. keskiaikaisissa puhallushytteissä voi syntyä suuria määriä ei- magneettista vihertävää kvartsikuonaa.

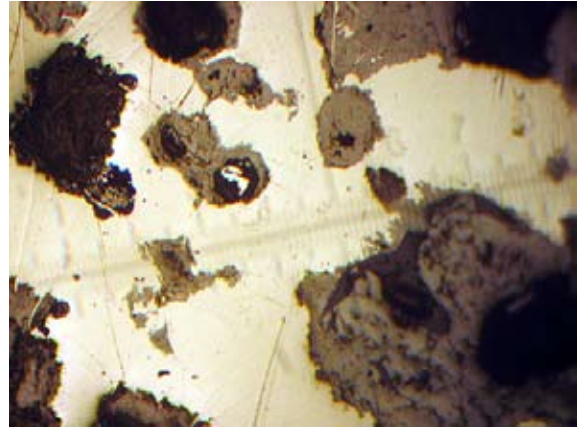
Jos kuonan mikrorakenteen tutkimusta halutaan syventää esimerkiksi arkeologisen tutkimuksen yhteydessä, tulisi tehdä ainakin seuraavat analyysit, jotta tulokset olisivat tieteellisesti vertailukelpoisia. Ensiksi pitää tehdä pelkistyskokeet kulloisenkin tutkimusalueen paikallisesta malmista. Tämä edellyttäisi käytännössä laboratorio-olosuhteita ja laitteita, joilla voisi esim. mitata lämpötiloja tarkasti. Käyttökelpoinen analyysi syntyvälle kuonalle tai raudalle on metallografia, jonka avulla voidaan selvittää metallin kemiallinen koostumus tarkasti.

Rautaa voi esiintyä monenlaisessa kuonassa esim. rautaoliviinissa (rautasilikaatti), wüstitissa (rautaoksidi), magnetiitissa (rautaoksidi) sekä herkyniitissä (rautaalumiinioksidi). Lisäksi sulanut kvartsi voi esiintyä eri kokoonpanoissa ja näitä olomuotoja voidaan tarkastella petrograafisesti valomikroskoopilla, jolloin voidaan selvittää kuonan kiteytymisen eri vaiheita. Esimerkiksi pienikokoiset rakeet viittaavat nopeaan jäähtymiseen. Suurempi raekoko viittaa isompikokoiseen uuniin, jossa kuona jäähtyy hitaammin. Mikroskoopissa voidaan myös havaita, onko kappaletta muokattu. Yksikertaisin parametri on hiilipitoisuuden homogeenisuus. Jos hiilipitoisuus vaihtelee voimakkaasti, voi olettaa, että kappaletta ei ole taottu ollenkaan. Mikroskoopissa voidaan nähdä myös muokauksen aiheuttamat rakennemuutokset.

Elektronimikroskooppitutkimuksilla voidaan tarkastella esim. raudan, mangaanin sekä magnesiumin leviämistä fayaliittikuonassa. Tämän tutkimuksen yhteydessä tutkittiin Paaskosken ja Ahvenkosken rautakuonaa ja näytteistä löydettiin mm. happea ja kalsiumia. Kokeellisen arkeometallurgisen tutkimuksen lähtökohtana tulisi olla tietty määrä samoissa olosuhteissa tehtyjä ja tarkoin mittauksin tutkittuja sulatuksia, joihin vanhan kuonan rakennetta voi verrata. Tällaiset tutkimukset vaativat huomattavia resursseja.

Eri analyysillä voidaan tutkia suhteellisen tarkasti esimerkiksi fayaliittikuonan kiteytymisen eri vaiheita, joka vaatii syntyäkseen pitkäaikaista sulaa olotilaa. Sepän ajohittausprosessissa aika on tällaisen kuonan syntymiselle liian lyhyt ja epätasainen. Raudanpelkistysprosessissa sekä mangaani, että rauta ovat levinneet homogeenisesti rautaoliviinikuonaan noin 1050-1300 C° lämpötilassa, kun taas pajakuonassa rakennetta on heterogeeninen ja sulamislämpötila on välillä noin 850-1100 C°.

Lisäksi voidaan etsiä korrelaatioita kuonan ja malmin alkuainepitoisuuksien väliltä. Analyysit osoittavat, että Ahvenkosken ja Paaskosken kuonassa on pelkistyskuonaa sekä pajakuonaa. Kuonan kalsiumin pitoisuus on molemmissa kohteissa noin 10 x korkeampi, kuin ympäristön malmeissa. Tämä voi viitata siihen, että katalyyttina/juoksutteenä on voitu käyttää kalkkia. (Perttula 2006, vrt. myös Peets 2003, Joosten 1997 ja Buchwald 2005)



Kuva 24. Merikosken fayaliitti-wüstiittikuonaa, jossa on noin puolet puhdasta rautaa (valkoinen). (JJ)



Kuva 24. Sulatusuunin lämpötila voi nousta yli 1400 C°. (JJ)



Kuva 25. Strukan ylihiiliiterästä n. C 1,3 %, jonka hypereutektoidisessa rakenteessa näkyy runsasta sementiitkarbidin kasvua raerajojen lisäksi rakeiden sisään. (JJ)



Kuva 27. Huolimatta noin 10-15: sta kuumennuskerrasta hitsauslämpötilaan (n. 1250 C°, säilyi Strukan teräksen hiilipitoisuus korkealla C 1,3% tai yli. (JJ)

Kalkki on voinut liueta kuonaan myös lehtipuuhiilestä (Nygård 2007). Jo 15 - 20 kg hiilimäärän lisäys pienehkössä torniuunissa voi nostaa kuonan Ca- pitoisuutta 0,5 %. Muutaman tunnin kestävässä puhalluksessa pitoisuus voi siis nousta jopa 10 -15 %. Mahdollisesti Paaskoskella on käytetty myös lehtipuun tuhkaa edistämään kuonan muodostumista ja se on samalla nostanut Ca- pitoisuutta. Analysoitu kuona voi olla peräisin myös esimerkiksi uunin reunoilta ja savesta on voinut liueta sintrauslämpötilassa kalkkia hiileen tai suoraan kuonaan.

KOKEELLISTA PELKISTYSTÄ

Vuoden 2006 aikana tehtiin useita pelkistyskokeita, hiilletyskokeita sekä syksyllä kaksi Wooz- teräksen sulatuskoetta. Raaka-aineena käytettiin Ahvenkosken rautamultaa tai siitä pelkistettyä rautaa ja hiiliterästä. Polttoaineena käytettiin kuusenjuurista miilulla valmistettua hiiltä. Kolmen kokeen tuloksia analysoitiin metallurgisesti. Ensimmäinen koe tehtiin 8.6.2006 ja sillä pyrittiin simuloimaan kupurapohjaisen torniuunin pelkistysprosessia. Uunin halkaisija oli 210 mm ja korkeus 600 mm. Puhallusaukko sijaitsi 250 mm pohjan tasosta, halkaisija oli 34 mm ja kallistus 20°. Malmina käytettiin 7 l Ahvenkosken rautamultaa märkänä ja suoraan kuopasta (Fe 33,6%). Esilämmitys aloitettiin klo. 03.30, puhallus alkoi 11.20 ja kesti 1 h 55 min, puhallus noin 600-720 l / min.



Kuva 28. Teräksenpelkistystyksen loppuvaihe (19. 10) meneillään torniuunissa, joka vastasi mittasuhteiltaan virolaista Tuiun kylän 1200- luvun saviuunia. (JJ)



Kuva 29. Kesäkuussa 2006 tehdyn sulatuksen tuloksena syntyi 4 kg "rautasieni". (JJ)

Tuloksena syntyi 775 g hiiliterästä 25-75 g palasina. Kipinäkokeen perusteella joissain kohdissa on korkeahiilistä terästä C 0,8 - 1,5%.Palasia ajohitsattiin yhteen noin 250 g, jonka jälkeen kappaletta puhdistettiin ja venytettiin takomalla kuumentamalla noin 10 kertaa hitsauslämpötilaan, jolloin latan päästä suihkusi kipinöitä. Tulokseksi saatiin lattaterästä, jonka hiilipitoisuus vaihtelee välillä C 0,2 - 0,9 %. Laadultaan teräs on puhdasta ja haitallisten seosainepitoisuuksien osalta se vastaa jopa tämän päivän kaupallisia teräksiä. Rakenne on perliittiä sekä raerajoilla ferriittiä (kuvat 41 - 43). Raerajoilta on kasvanut ytimen suuntaan Widmanstättenin ferriittiä (ferriitti kasvaa tiettyjä kidetasoja pitkin). Analysoidussa palassa on lähes täysin hiilletettäviä kohtia ja korkean hiilipitoisuuden alueita. Toinen puhallus tehtiin muutoin samoilla arvoilla, mutta suuremmassa uunissa jonka sisähalkaisija oli 250 mm ja korkeus 700 mm. Malmin määrä oli 12 l ja puhallusilman määrä koko puhalluksen ajan 700 l / min. Kolmas koe, jonka terästä analysoitiin tarkemmin, käsitti ylihiiliteräksen sulatusyrityksen aikaisemmin pelkistetystä Ahvenkosken teräksestä. Tätä koetta edelsivät keväällä tehdyt kokeet, joissa testattiin Kymijokilaakson sinisen saven, kvartsi - maasälpä hiekan sekä samotin seoksen kestävyyttä teräksen sulatusupokkaana. Kokeet osoittivat, että stabiileissa olosuhteissa esipoltetut upokkaat kestivät hetkellisesti yli 1300 C° lämpötilan, mutta sulivat sen jälkeen.



Kuva 30. Kokeissa Ahvenkosken terästä ahjohitsattiin kvartsihiekan avulla ja parhaaksi osoittautui sivusta puhaltava ahjo, jolloin ilmantulo-aukko ei tukkiudu sulavasta kuonasta. Käytössä oli sekä vuolukivestä veistetty sivukivi, että Refrakin tulenkestävästä silikaatista valettu kivi, joissa oli 18 mm puhallusreikä. Seuraavissa kokeissa testataan savisen sivukiven ominaisuuksia. (JJ).

Syynä voi olla liian pieni samotin pitoisuus (25%) ja kvartsihiekan sisältämät epäpuhtaudet. Ensimmäisessä kokeessa sulatettiin kokeeksi hopeaa (925). Toisessa kokeessa sulatettiin terästä grafiitti - samotti - savi- seosteisessa upokkaassa. Teräs suli osittain mutta toispuoleisesti ja näytti siltä, että kuusenjuurihiilellä lämpötilaa ei saatu nousemaan riittävän korkealle. Huolimatta useiden tuntien esiesilämmityksestä ja uunin eristämisestä, lämpötila oli kuumimmillaan vain noin 1300C°. Toisen sulatukseen katkaisi kaatosade, joka todennäköisesti aiheutti runsaasti repeämiä



Kuva 31. Öinen esilämmitys käynnissä lokakuussa 2006. (JJ)

teräksen raerajoilla. Aihe vaatii jatkossa syvempiä tutkimuksia ja useita lisäkokeiluja. Ahvenkosken kuonan seasta paikallistettu teräsenkappale on pelkistetty löytöpaikallaan *in situ* ja se on heterogeenista hiiliterästä. Sepältä kappale on kuitenkin hävinnyt sulan kuonan sisään. Kyseessä olisi kontekstin alustavan tarkastelun sekä metallurgisten analyysien perusteella voinut olla vaikka asesepän paja, koska tiettyjen olosuhteiden vallitessa hiiliterästä syntyy aina ja hiilipitoisuus voi nousta lähelle C 1 %. Pidän hyvin epätodennäköisenä, että paikallisista malmeista pelkistetystä teräksestä olisi kuitenkaan sulatettu ylihiiliterästä niillä materiaaleilla, joita Kymijokilaakso tarjoaa. Myös paikallisten malmien mangaanipitoisuus olisi esimerkiksi wooz-teräksen syntymiseen aivan liian pieni (Perttula 2006). Jokaisessa sulatuskokeessa saatiin kuitenkin paikallisesta rautamullasta pelkistetyn raudan hiilipitoisuus nousemaan (kipinäköe) C 0,8 % ja tietyin paikoin jopa yli C 1 %, jolloin on periaatteessa olemassa edellytykset sementtiittikarbidin muodostumiselle, mitä tulee tarpeeseen tehdä esimerkiksi kulutusta kestävä puukko.



Kuva 32. Tekijä palkeita pumppaamassa (JC).

Muitakin käytännöllisiä havaintoja syntyi kokeiden aikana, jotka raudansulattajan on syytä ottaa huomioon.

Sulatusprosessissa käytettävän puuhiilen on oltava tasalaatuista ja tietyn kokoista uunin mittasuhteisiin nähden ja siksi hiili on seulottava. Hienojakoinen hiilijauho muodostaa ”hiilimujua” tukkii uunin yläosassa kaasun virtauksen ja aiheuttaa paineen nousua alaosassa, jolloin kuuma ilma suihkuu puhallussuuttimesta ulos. Seulontakaan ei auta, jos hiili on sateisena kesänä kostunut sillä kuumaan uuniin joutuessaan kosteus ja kidevesi höyrystyessään murentaa hiilen ja aiheuttaa saman ongelman.

Toinen havainto oli se, että kvartsilla ahjohitsattaessa pajakuonan ja sulatuskuonan erottamiseen toisistaan riittää periaatteessa valomikroskooppissa tehtävä mikrorakenteen tarkastelu.



Kuva 33. Puhdistustaonnassa ja venytyksessä voi syntyä merkittävää hiilikatota, joka voi vaikuttaa olennaisesti teräksen karkaisuominaisuuksiin ja leikkaavuuteen. (JJ)

Vaikka tietyt kemiallis-fysikaaliset olosuhteet saattavat olla hyvin lähellä toisiaan, ei pajakuonaan tehtyjen kokeiden perusteella irtoa tai liukene niin paljoa rautaa.



Kuva 34. Vuonna 2006 Ahvenkosken rautamullasta pekistettyä rautaa ja hiiliterästä kaikkiaan 12,5 kg. (JJ)

Pajakuona sisältää niin vähän rautahiukkasia, että eron sulatuskuonaan huomaa jo alustavan tarkastelun perusteella mikrorakenteesta. On hyvin mahdollista, että eräissä aikaisemmissa tutkimuksissa on tästä syystä tehty vääriä tulkintoja. Eli pelkistyskuonaa on voitu visuaalisen tarkastelun perusteella tai mikroskooppitutkimuksien perusteella arvioida pajakuonaksi ja toisin päin.

Motiivi erotella pajakuona sulatuskuonasta on merkityksellistä siinä mielessä, että raudanvalmistus ja teräksen hiilletys on monin verroin monimutkaisempaa hallita, kuin pelkkä sepäntyö. Taitajat olivat rautakauden alkaessa hyvin harvassa, kuten myös viikinkiajalla, keskiajalla. Tänään heitä on vieläkin havemmassa.

Puhallusilma olisi syytä esikuumentaa ja on mielenkiintoista pohtia, olisiko esim. rautakaudella tehty niin? Ilman kuumentamisen vain 100 C° nostaisi prosessin hyötysuhteen aivan toiselle tasolle ja näin ollen malmista menisi hukkaan huomattavasti pienempi määrä. Kalkkia voi lisätä runsaasti ja se edistää kuonan syntymistä, mutta se kostaustuu erilaisina ongelmina sienen tiivistys ja venytystaonnan yhteydessä.

Kolmen viimeisen vuoden aikana tehdyn noin 30 onnistuneen sulatuskokeen perusteella voi todeta, että rautaa voi pelkistää kotiololoissa tai metsässä “suhteellisen” vähällä vaivalla. Käsitystä tukevat myös kollegoiden tekemät vastaavat kokeet (Nygård 2005-, Kallio 2005-, Parviainen 2000-). Rautaa on syntynyt ainakin paikallisesta rautamullasta (Fe 34,6 %), suomalmista (Fe 36,4 %) eli limoniitista (Ruukki Production/ Analyysi No 0405-2005-0104) sekä hematiitti ja magnetiitti vuorimalmeista (Ruukki Production/ rikasteet Fe n. 70 %).

Arkeologisisten tutkimusten ja nyt tehtyjen kokeiden perusteella oletan, että myös hiiliterästä on valmistettu jo rautakaudelta lähtien. Terästä syntyy tehtyjen kokeiden perusteella torniuunissa lähes aina normaalin sulatuksen yhteydessä, riippuen olosuhteista. Juuri prosessinhallinnan ja sulatuksen onnistumisen riippuvuus ympäröivistä olosuhteista on edellyttänyt sepältä taitojen lisäksi kykyä “taikuuteen”. Seppä on kyennyt erottamaan karkenevan hiiliteräksen puhtaan raudan sienestä täysin aistinvaraisesti ja kokeilemalla, joko hitsauslämpötilassa lentävän kipinäsuihkun ja “keittämisestä” kuuluvan sihinän perusteella, hiomakipinän muodon ja värin sekä viimeistään taonnan perusteella (korkeahiilinen teräs on hyvin raskasta takoa) sekä hitsaamaan erottelemansa teräksen esim. sirpin tai puukonterään.

Joissain tutkimuksissa on tosin analysoitu rautakautisia kerroshitsattuja puukonteräjä, joissa hiiliteräskaistale ei ole osunut kerroksien keskelle, eli leikkaavaan teränsuuhun. Tällä perusteella on tehty johtopäätöksiä, että seppä ei olisi kyennyt erottamaan hiiliterästä raudasta? Ajatus ei ole järkevä ja todennäköisesti seppä on vain seonnut silloin tällöin laskuissaan, tai vasaran varressa on ollut ns. tuhkaseppä. Ei nimittäin olisi mitään järkeä takoa kerrosterästä, jos ei tietäisi terästen ominaisuuksia ja järjestystä. Joka tapauksessa, päämääränä on ollut takoa normaalia rautaterää huomattavasti kestävämpi karkaistu teräase.

JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Kyseessä voi olla esim. kuningas Kustaa Vaasan 1500-luvulla määräämien pelkistyskokeiden jäännökset (Broas 2007) ja maamme tulevien rautaruukkien potentiaalisia sijoituspaikkoja sekä malmiesiintymiä kartoittanut ruotsalaisseppä?.

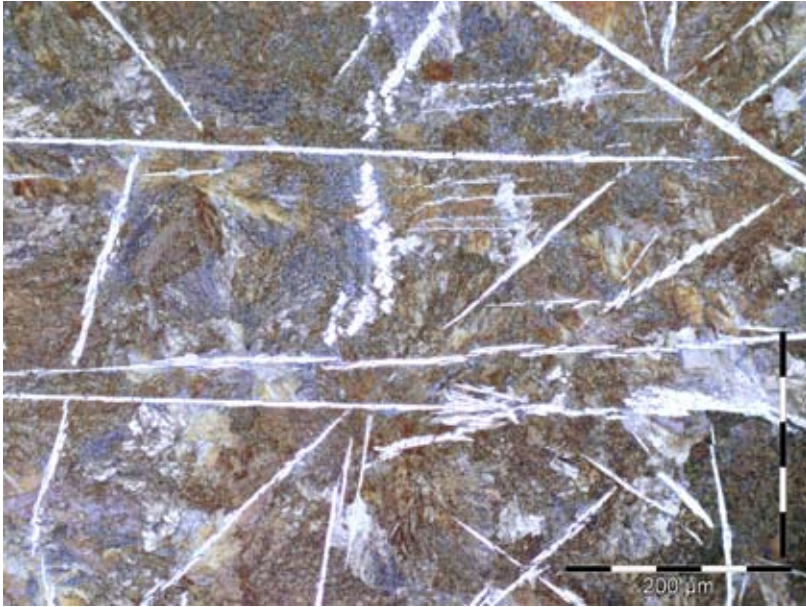
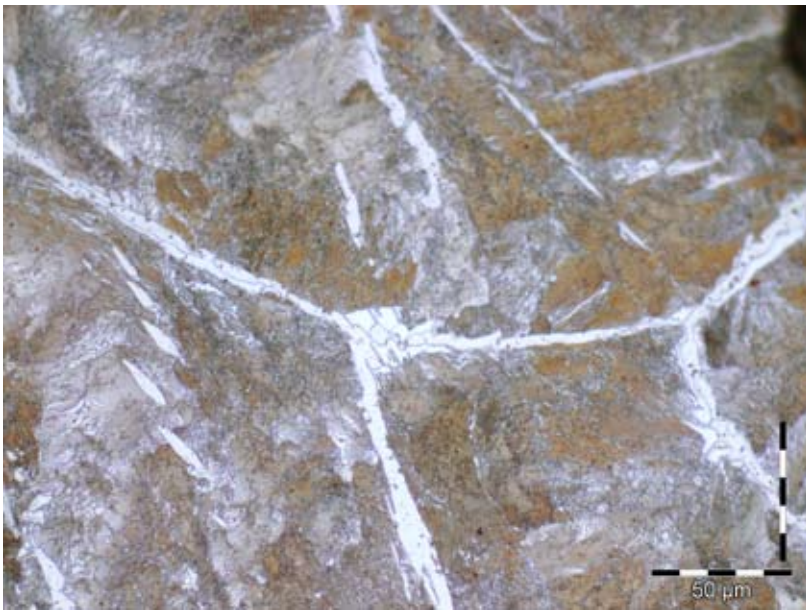
Paaskoskella on tehty sepäntöitä ja käytetty raaka-aineena mm. käytettyjä nauloja. Näin ollen ei voi sulkea pois sitä mahdollisuutta, että wüstiittipitoinen kuona olisi voinut syntyä ajohitsauksista. Valitettavasti eri aikakausien kalastuslaitteiden ja tukinuittoon liittyvien maamassojen vaihto näyttää tuhonnen Paaskosken ahjon/uunin. Paaskosken ahjossa/sulatusuunissa on käytetty savesta muotoiltua sivukiveä tai suutinta. Työtä on mahdollisesti tehty taivasalla ja kokonaisuus viittaa siihen, että aivan lähimain ei ole sijainnut pysyvää sepänpajaa. Pysyviä sepänpajoja on tuolloin sijainnut ehkä Pyhtään kirkonkylässä ja pienempiä kotitarvepajoja suurimpien maatalojen ja kestikievarien yhteydessä. Paaskosken yhden kuonanäytteen koholla oleva Ni-pitoisuus voi viittaa siihen, että seppä on joko pelkistänyt raudan vuorimalmista tai takonut/ajohitsannut valmiiksi jalostettua takkirautaa, joka oli tuohon aikaan tuontitavaraa (Nygård 2007).

Merkittävin aspekti on kuitenkin se, että seppä on tehnyt myös pelkistyskiä ja ainakin Ahvenkoskella voidaan osoittaa syntyneen rautaa ja lisäksi suhteellisen hyvälaatuista hiiliterästä talonpoikaista raudanpelkistysmenetelmää käyttäen (Jäppinen 2007). Paaskosken seppä on ehkä ollut lohenkalastusta harjoittanut talonpoika, jota on osanut takoa itselleen kalastukseen tarvittavat tarvikkeet alkaen raudansulatuksesta. On huomioitava, että sepän toiminnasta kului ajoitusten mukaan vielä 150 vuotta ruukin perustamiseen.

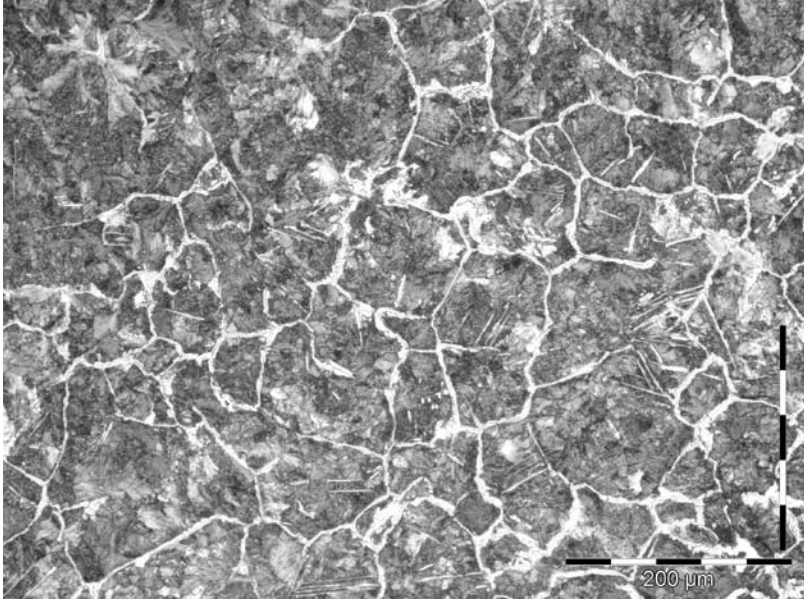
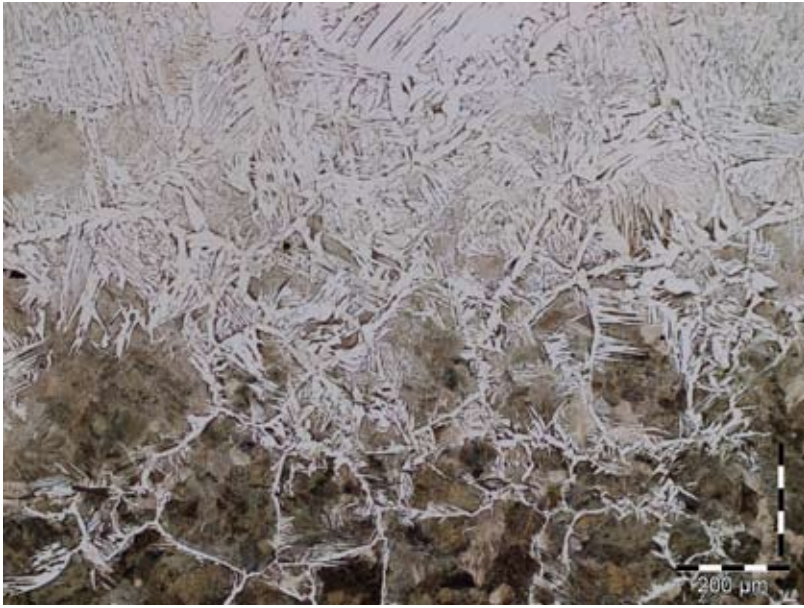
Talonpoikainen raudanvalmistus on säilynyt hengissä neljä tuhatta vuotta. Taidon säilyminen myös tulevaisuudessa olisi ainakin kulttuurisesti perusteltua. Ehkä meneillään oleva puukon renesanssi lisää kiinnostusta raudanpelkistykseen. *Kokonaan* itse tehty puukko painii nimittäin aivan omassa sarjassa. Jos tekijällä on käsillä rautamalmia, savea, hiiliä, palkeet ja lapio, niin rautaa voidaan valmistaa vain 2-3 tunnin valmistelujen jälkeen esimerkiksi savella vuoratussa kuoppauunissa, kun taas teräksen hiillettäminen vaatii vähintään 70 cm korkean torniuunin.

Suomen kulttuurirahaston lisäksi seuraavat tiedenaiset ja -miehet, arkeologit, insinöörit ja sepät edistivät monin eri tavoin projektia, sen eri vaiheissa: Timo Miettinen, Rune Nygård, Ola Nygård, Börje Broas, Sirkka-Liisa Seppälä, Mika Lavento, Högne Jungner, Leena Lehtinen, Heikki Häyhä, Markku Mäkivuoti, Juha Perttula, Paula Palmgren, Martti Lehtinen, Harri Leppänen, Antero Tamminen, Urpo Parviainen, Seppo Kallio, Paul Partanen, Lauri Rantalainen, Raimo Mattila, Matti Villanen ja Jukka Suvisaari.

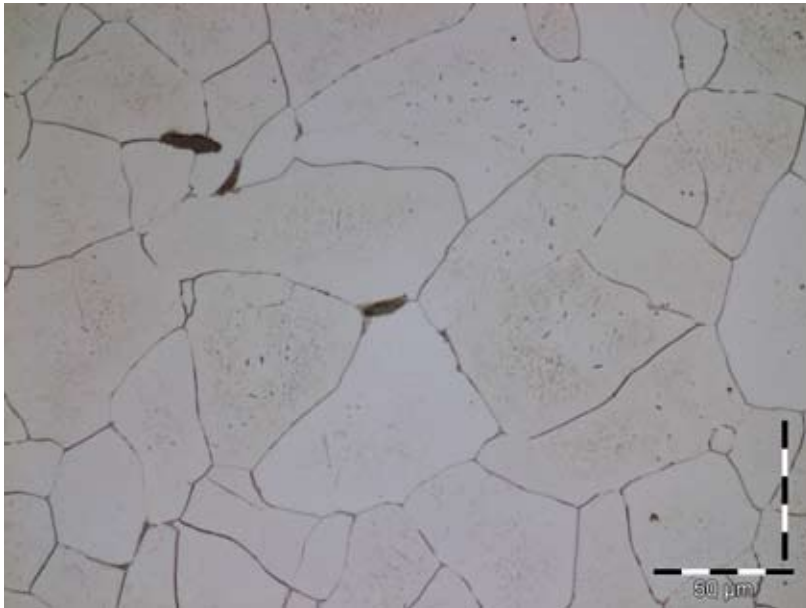
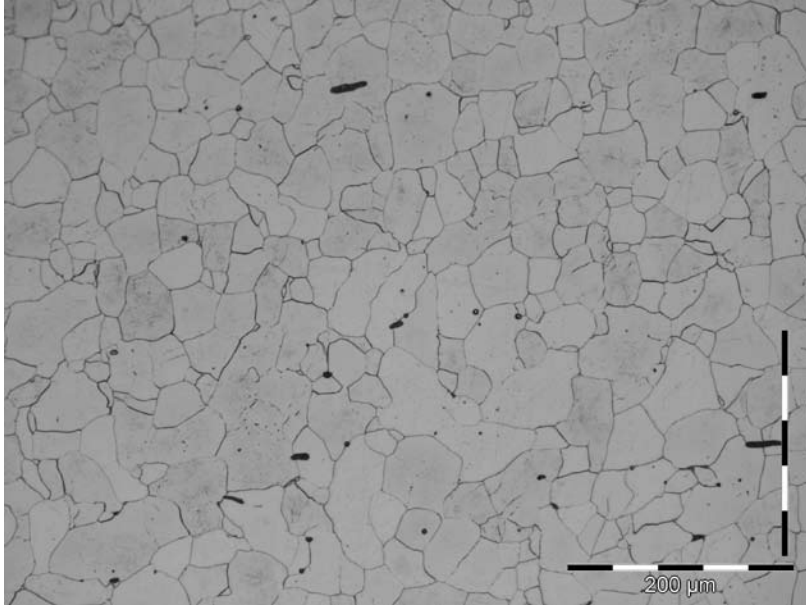
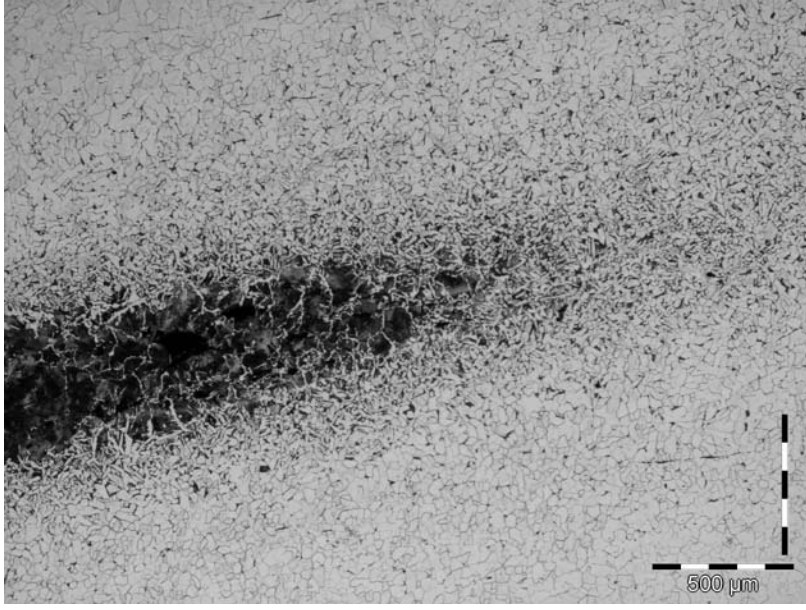
Seuraavat laitokset tukivat projektia analyysin: elektronimikroskooppi- ja alkuaineanalyytit TTY/ Valimoinstituutti. Valomikroskooppikuvat ja alkuaineanalyytit Ruukki Production Oyj/ Raahen analyysilaboratorio. Ahvenkosken sulatuskuonan ja merimalmin röntgendiffraktogrammi Helsingin yliopiston Geologinen museo. Tulenkestävissä materiaalikysymyksissä avustivat kotkalainen Refrak Oy, SarMACHINE Oy Eurosta ja Keracom Oy Porvoosta. Röntgenkuvista vastasi EVTEK-Ammattikorkeakoulun konservaattorin ja Vantaalta. Paaskosken ja Merikosken kuonan $\delta^{13}\text{C}$ radiohiiliajoitukset tehtiin Helsingin yliopiston ajoituslaboratoriossa Pyhtään ja Ruotsinpyhtään kuntien tilauksesta.



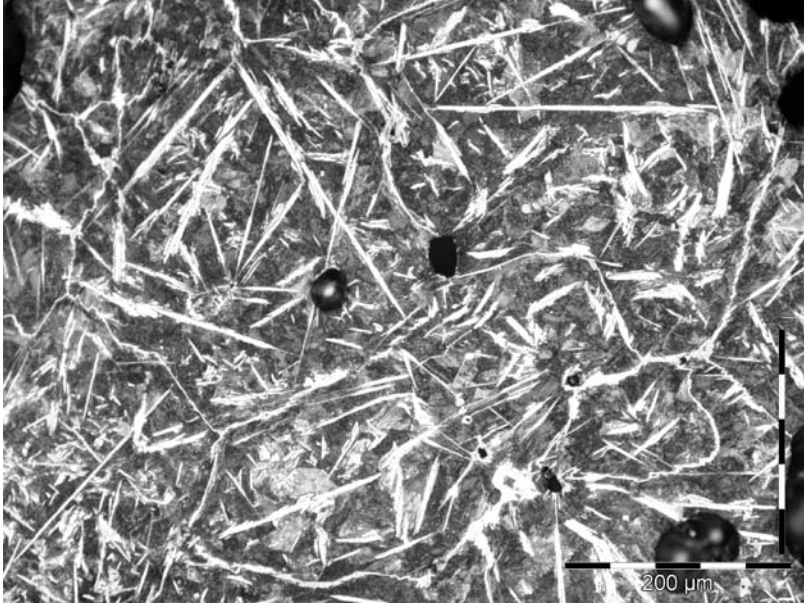
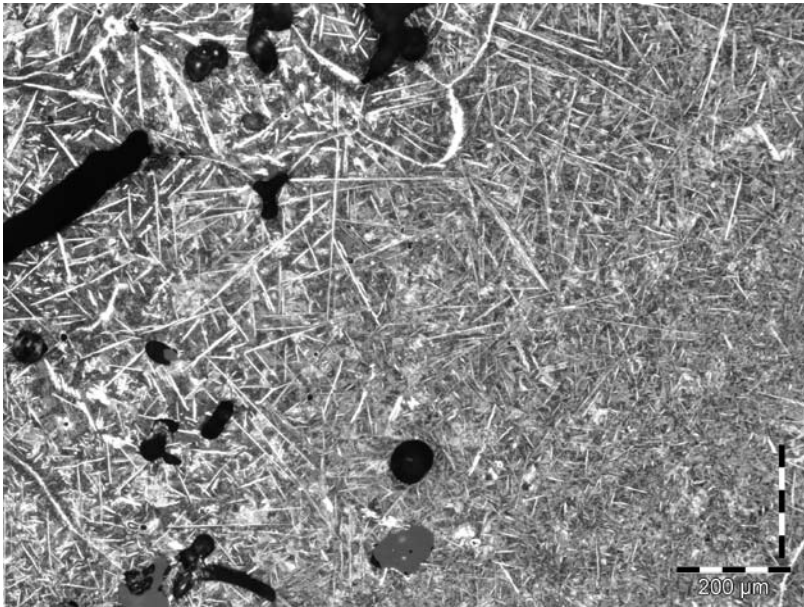
Kuvat 35 - 37. Näytteen Ahven 1 (hiiliteräs) rakenne on austeniittista hitaasti jäähtynyttä supereutektoidista perliittiä, jonka raerajoille ja osittain rakeiden sisään on kasvanut raerajasementiittiä. Seppä on nostanut "kuonakakan" uunista kokonaisena ja rikkomut kuonan sen jäähtyttyä. Hiilipitoisuus vaihtelee C 0,2-0,8 % välillä. (Kuvat: Ruukki Production Oy)



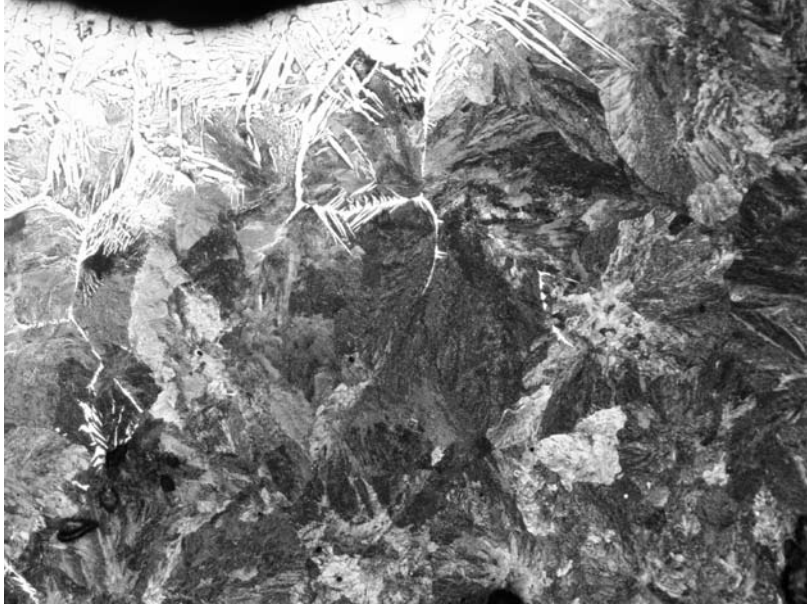
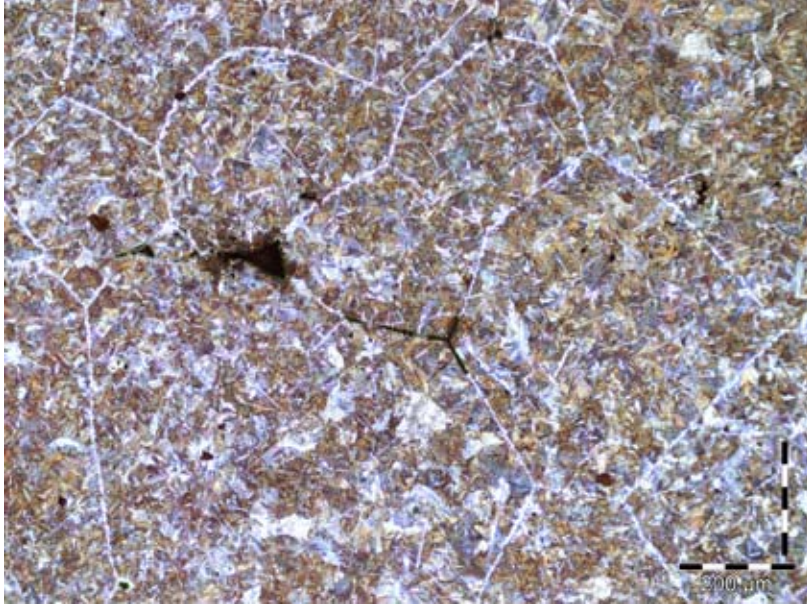
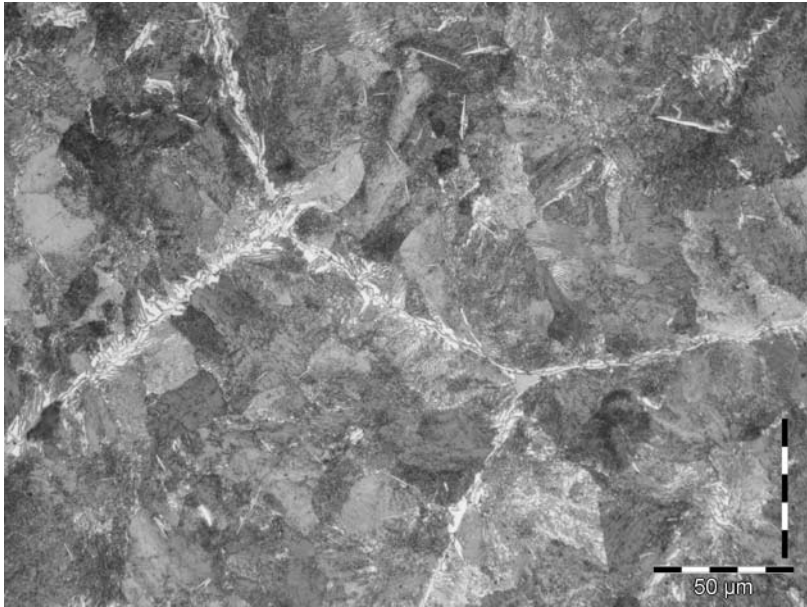
Kuvat 41 - 43. Pellistyskokeessa 8.6 syntyi teräksen korkean hiilipitoisuuden sekä tähän hillellettyä aluetta. Rakenne on perlitinen ja raerajoilla teräksen keskustan suuntaan on kasvanut valkoista neulasmaista Widmanstättinin sementiittiä ja raerajasementiittiä. Alakuvassa on korkeahillisen ja matalahillisen alueen rajalta. Alakuvassa näkyy korkeahillinen perlitinen rakenne, jossa raerajasementiittiä, sen sijaan yläosassa on enemmän matalahillistä ferritiä ja vähän perlitteä. Hiilipitoisuus vaihtelee välillä C 0,2-0,9 %. (Kuvat: Ruukki Production Oyj)



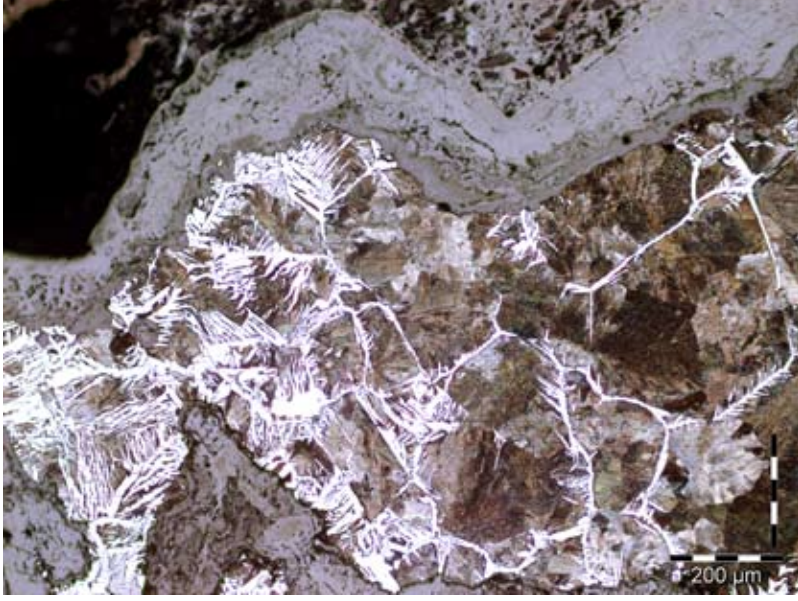
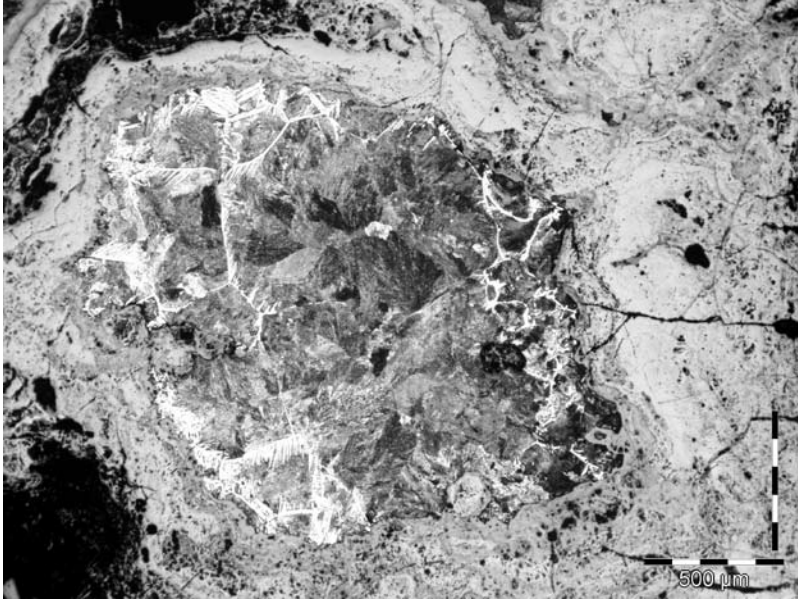
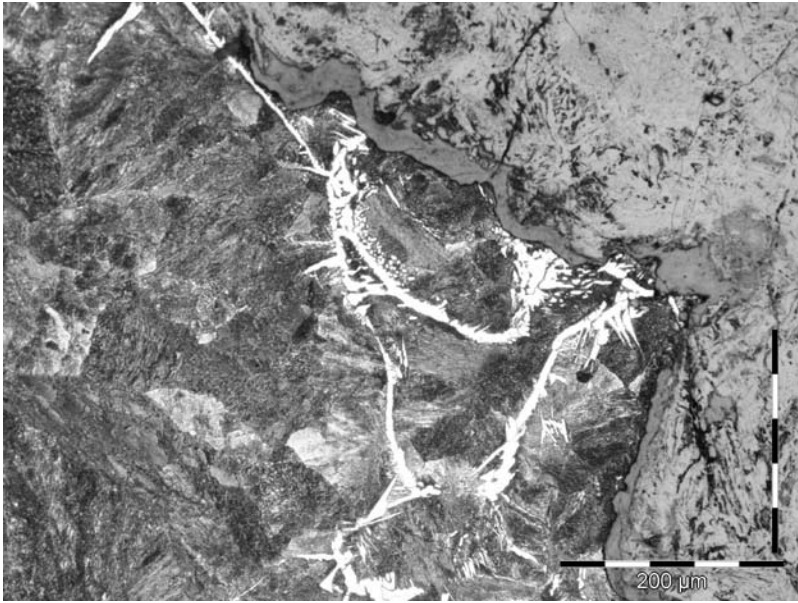
Kuvat 44 - 46. Esihistoriallisen kuoppauumin simulaatiossa 12.6 syntyi niukkahillistä isorakeista ferrittiä, jonka hiilipitoisuus vaihtelee välillä C 0,1 - 0,2 %. Keskimuutaisessa kavassa keskellä näkyvä yksinäinen faasi on perliittiä. Vasenmassa yläreunassa on kaksifaasisia kuonaa, todennäköisesti mangaanisulfidia ja rautasilikattia. Normaalisti esim. järvinälmistä puhallettaessa syntyy tämän tyyppistä vähähillistä ja helposti taottavaa pehmeää rautaa. Yläkavassa näkyy ferritiin keskelle syntyneet perliittialue. (Kavat: Ruukki Production Oy)



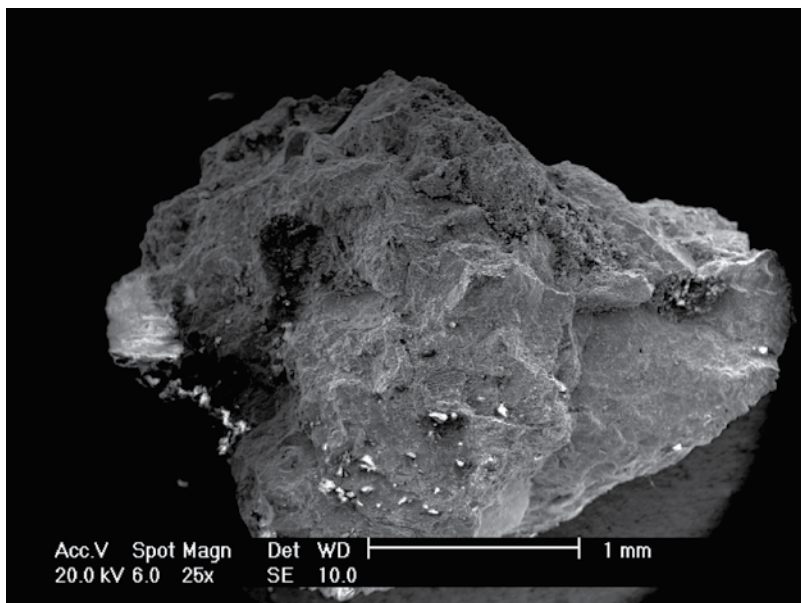
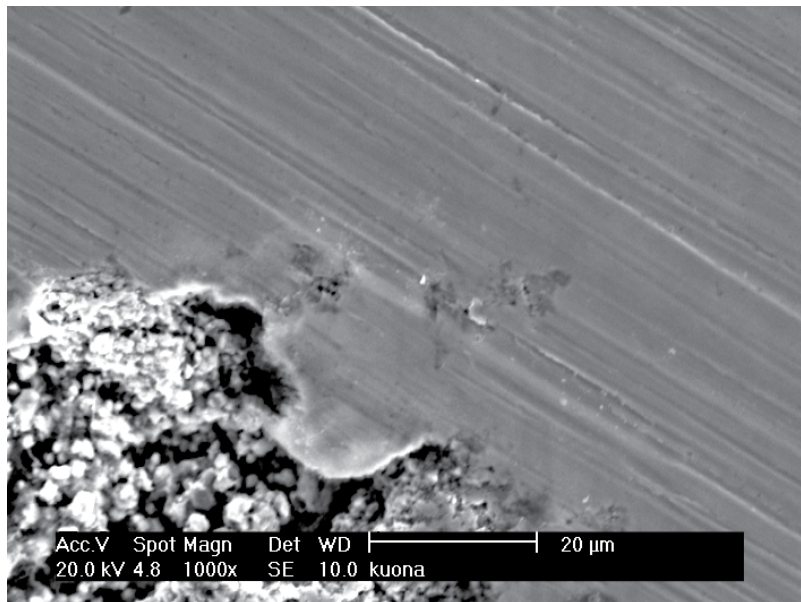
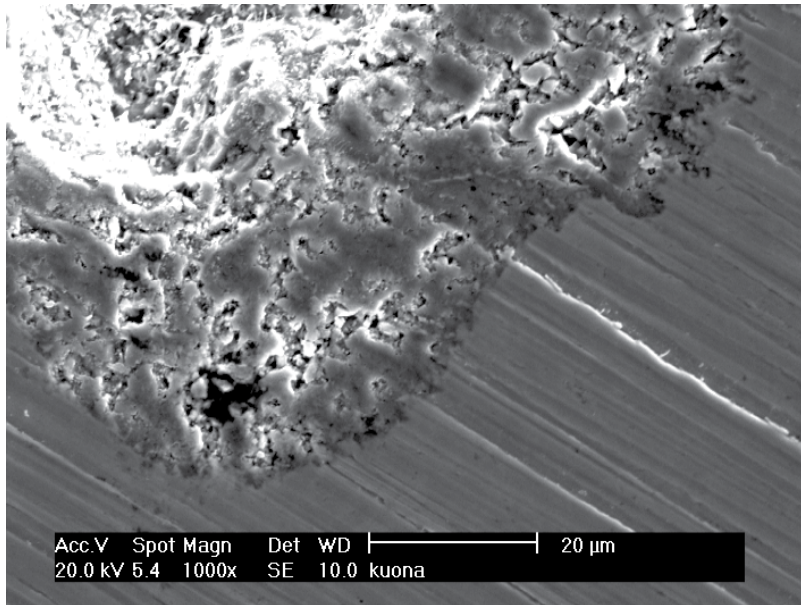
Kuva 47 - 49. Ensimmäisessä ylläiliteräksen sulatuskokeessa 19,8 raaka-aineena oli Ahvenkosken teräs. Noin kahdeksan tunnin sulatus päättyi kaatosateeseen, jolloin uunin jäähdytti nopeasti. Tuloksena syntyi osittain hyperutektoidista terästä, jonka hiilipitoisuus on paikoin yli C 1,5 %. Rakenne on perliittii ja raerajoilla hyvin kehittyneitä sementtiitilameleita ja rakeiden sisään kasvaneita sementtiitineulasia. Raerajat ovat osittain repeytyneet auki, todennäköisesti oksidoitumisen ja sisäisten jännitysten seurauksena. Teräs on erittäin kovaa ja vaikeaa takoa ja joissain tutkimuksissa on epäilty, että ainakin rautakandella seppä olisi sen vuoksi hylännyt vastaavanlaisen teräksen. (Kuvat: Ruukki Production Oy)



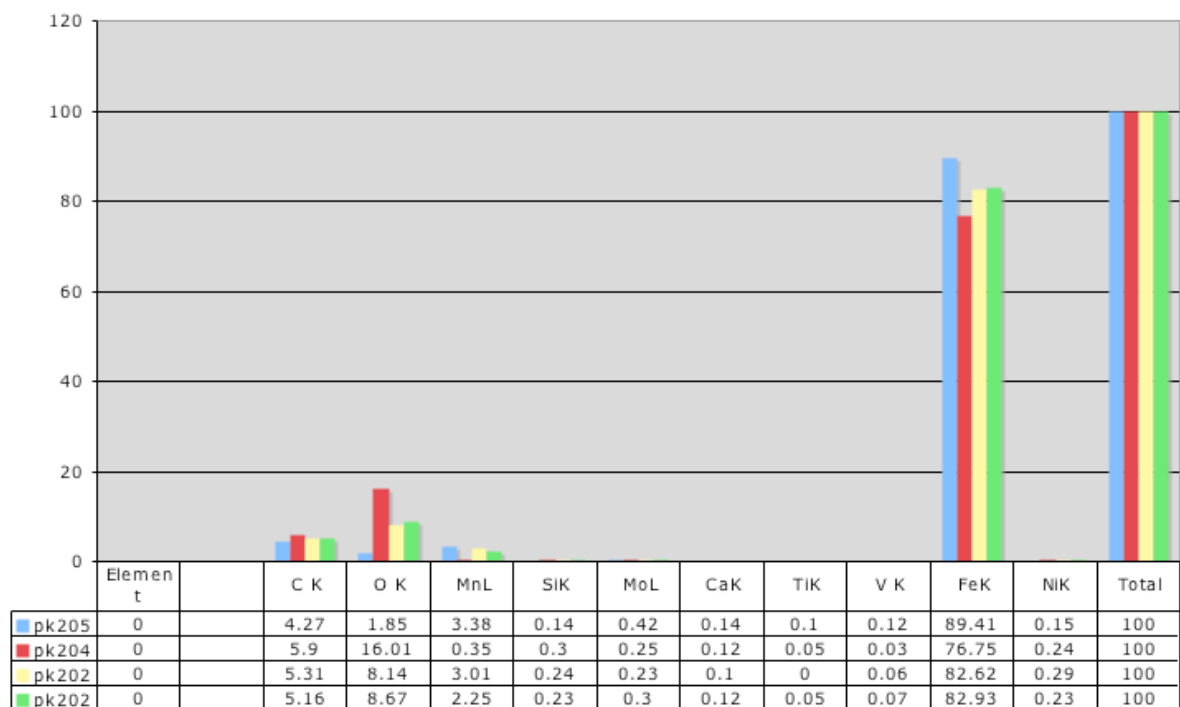
Kuvat 50 - 52. Puoskosken kuonan sisältä löydyntä terästä, jonka pinnalla hilsettä. Keskimuutisessä kavassa rakenne perliittiä ja raerajoille kiteynyt valkoista ferriittiä. Aine on todennäköisesti seppän paikan päällä valmistamaa takkirautaa tai madhantuotua raaka-aine tankoa, jonka pintakerros on korkeahilistä ja ydin rautaa. (Kuvat: RuukkiProduction Oy)



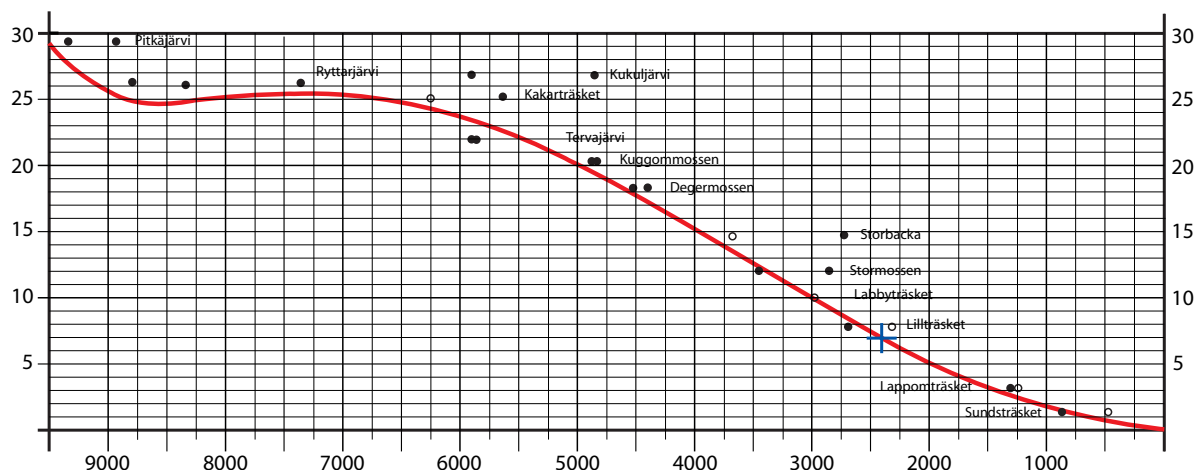
Kuvat 53- 55. Paaskosken terästä, joka on kauttaaltaan korroosion "syömä" ja kokonaan rautaoksidin ympäröimä. Teräksen rakenne on perliittiä, raerajoilla ferrititiä ja ytimen suuntaan kasvaneita Widmanstättinin ferrititiä. Lähimpänä keskustaa on viisiittiä ja uloimpänä magnetiittiä. Kaikkein uloin kerros voi olla hematitiittiä mutta valomikroskooppissa sitä ei pystytä erottamaan. Kuonassa on myös Si, Al ja Mn sekä vähän alle 1 % S ja Ca. Kalsium viittaa siihen, että pelkisyksessä on käytetty kalkkia. (Kuvat: RuukkiProduction Oyj)



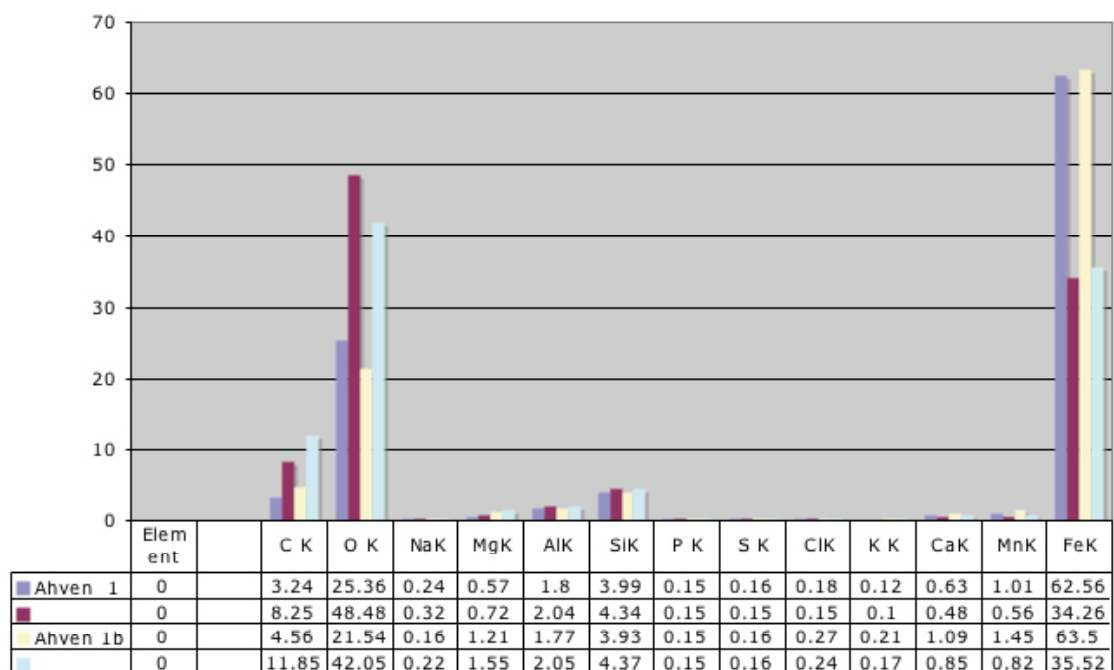
Kuvat 56 - 58. Elektronimikroskooppi analyysissä havaittiin sekä Ahvenkosken, että Paaskosken kuonassa poikkeuksellisen korkeita kalsiumpitoisuuksia (pk 204 ja pk 205/ks. kaavio 57/ 2 ylintä kuvaa), joka viittaa polttoaineena käytetyn lehtipuuhiiltä tai tuhkan käyttöön, edistämään kuonan muodostusta. (Kuvat: TTY)



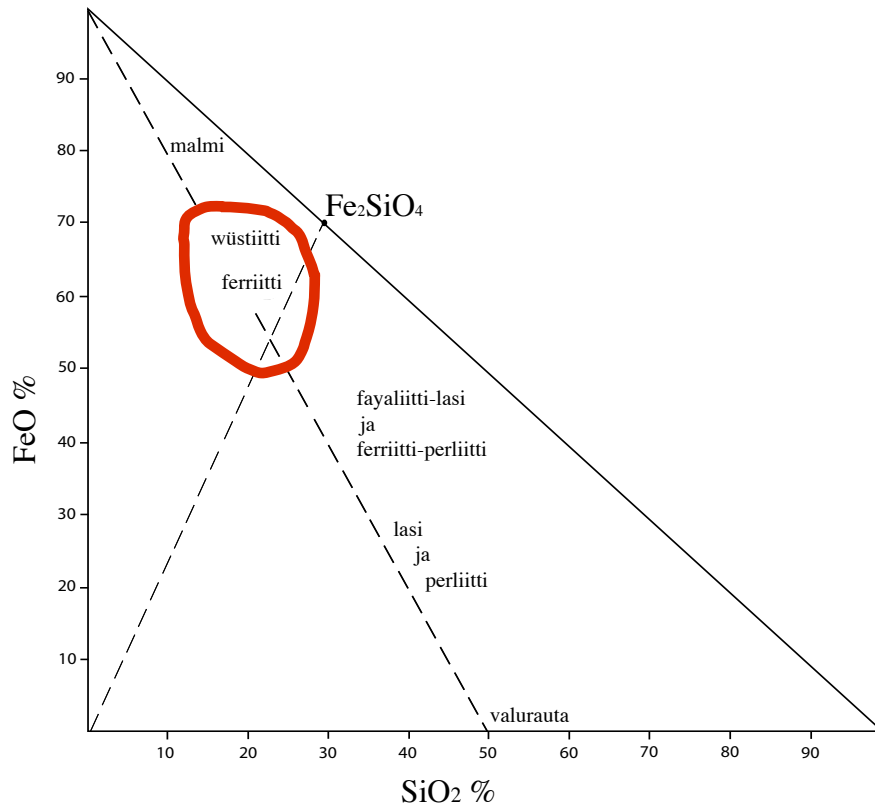
Kuva 59. Paaskosken kuona on rautaoksidia, jossa kalsiumpitoisuus on 10 x korkeampi kuin paikallisissa rautamalmalmeissa (Timmermansuon limonitti ja Ahvenkosken rautamulta). (Analyysi: TTY, kaavio: JJ)



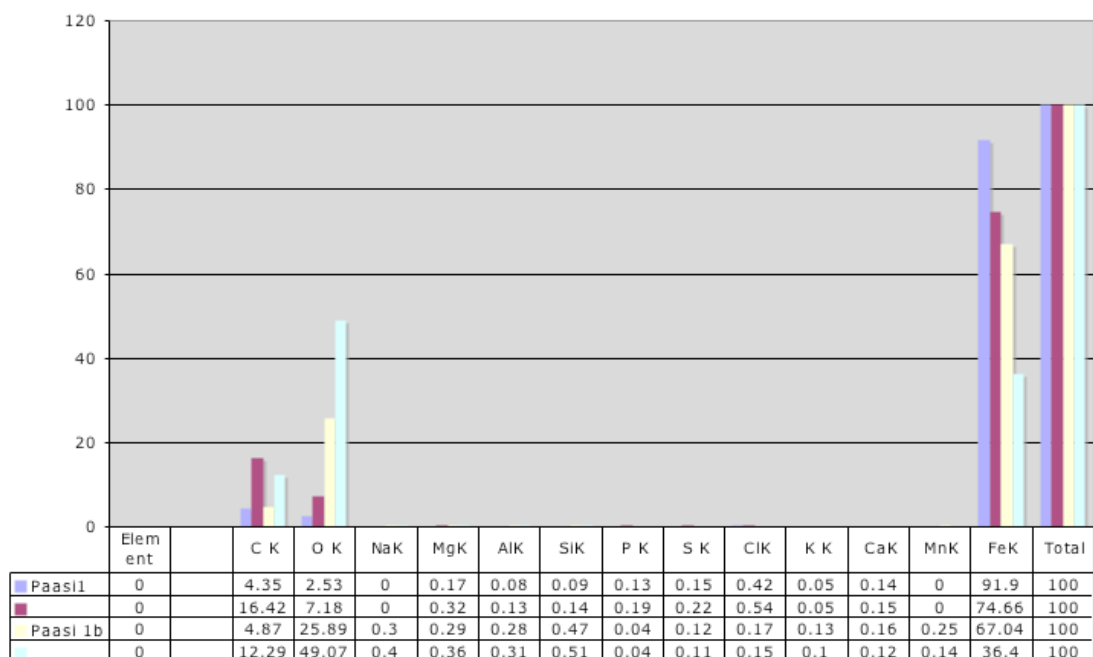
Kuva 60. Seudun rannansiirtymäkäyrä perustuu järvisedimenttien kalibroituun radiohiiliajoitukseen (C14). Käyrällä voidaan osoittaa merenrannassa sijaitsevan Ahvenkosken sulatusuunin suurpiirteinen takaraja 400 eaa (sininen risti). Tulkinta on hankalaa sillä käyrä ei välttämättä huomioi maannousun paikallisia vaihteluja. Ajoitushypoteesina voitiin tarkastella myös korkeusrajoja 3 m / 650 jaa. sekä 5m / 50 jaa. (Lähde: Pajunen, H. 2000; Hyvärinen 1980. Kuva: JJ)



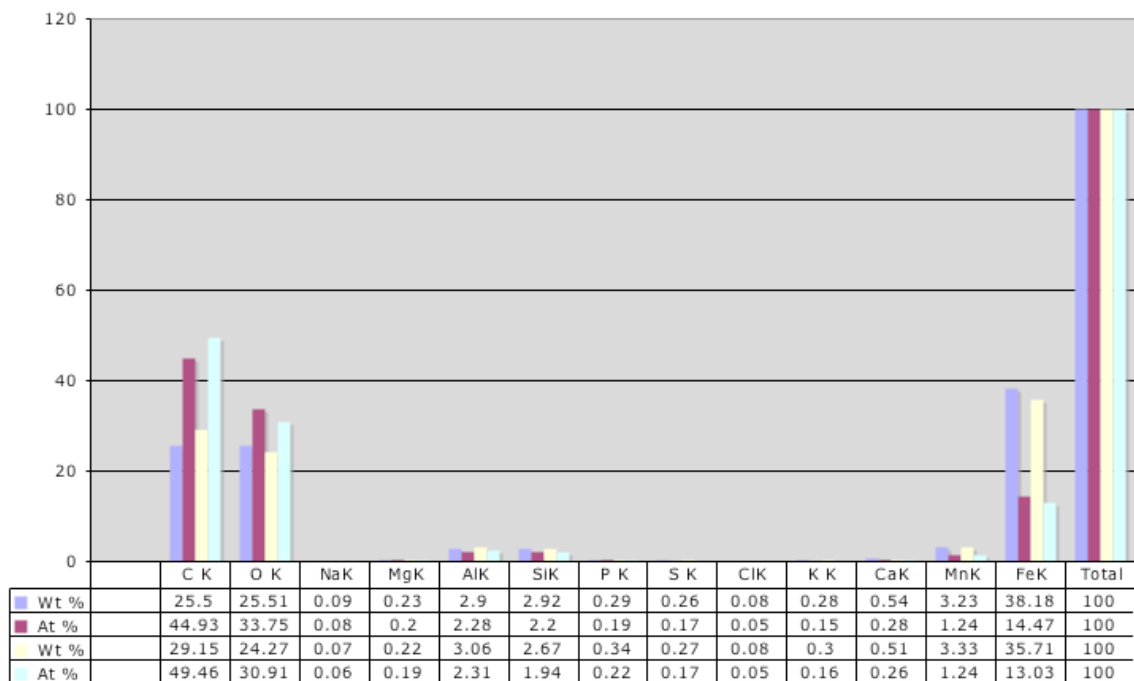
Kuva 61. Ahvenkosken kuona on lähinnä rautaoksidia, mutta joitakin prosentteja löytyy myös piitä, alumiinia, magnesiumia sekä mangaania. Kalsiumin pitoisuus vaihtelee välillä 0,48-1,09 %. (Analyysi TTY, kaavio JJ)



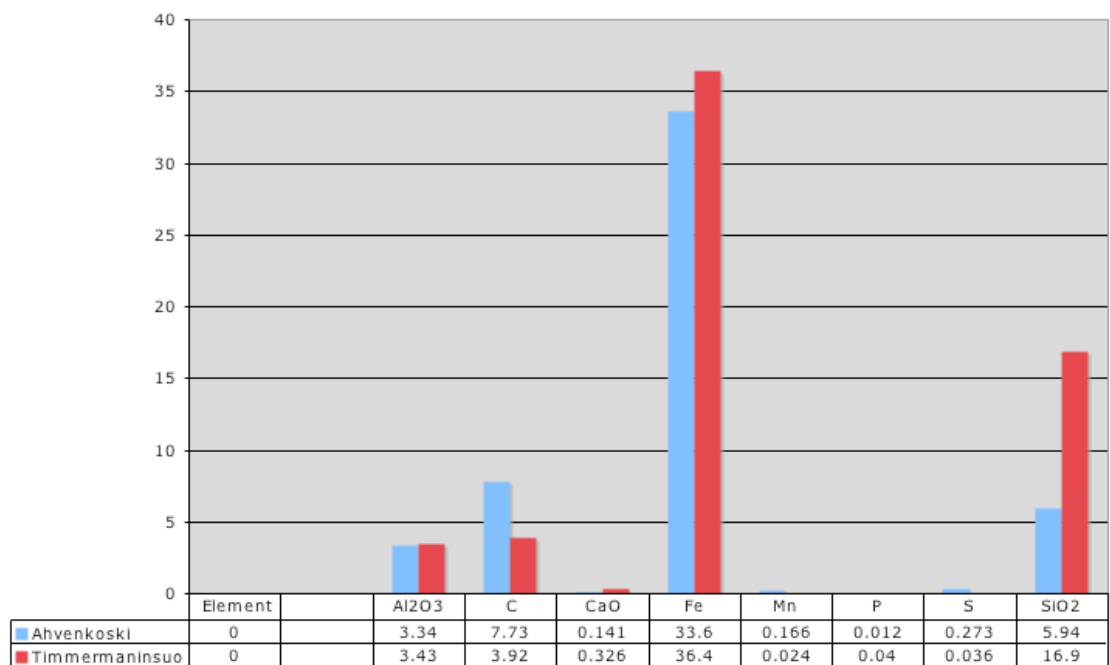
Kuva 62. Ahvenkosken wüsttiittikuona (Ahven 2) sijoitettuna pelkistyskaavioon FeO- SiO₂. Analysoidussa näytteessä pelkistyminen on edennyt wüsttiittiin asti ja sitten keskeytynyt. (Kaavio: JJ)



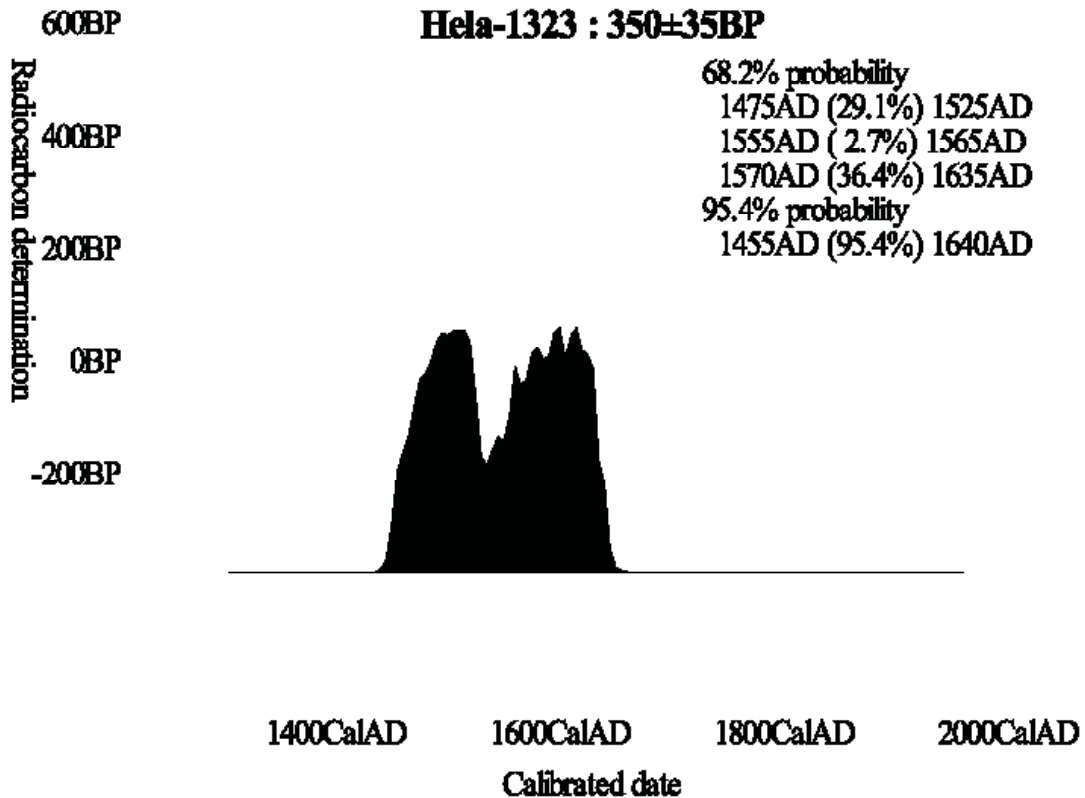
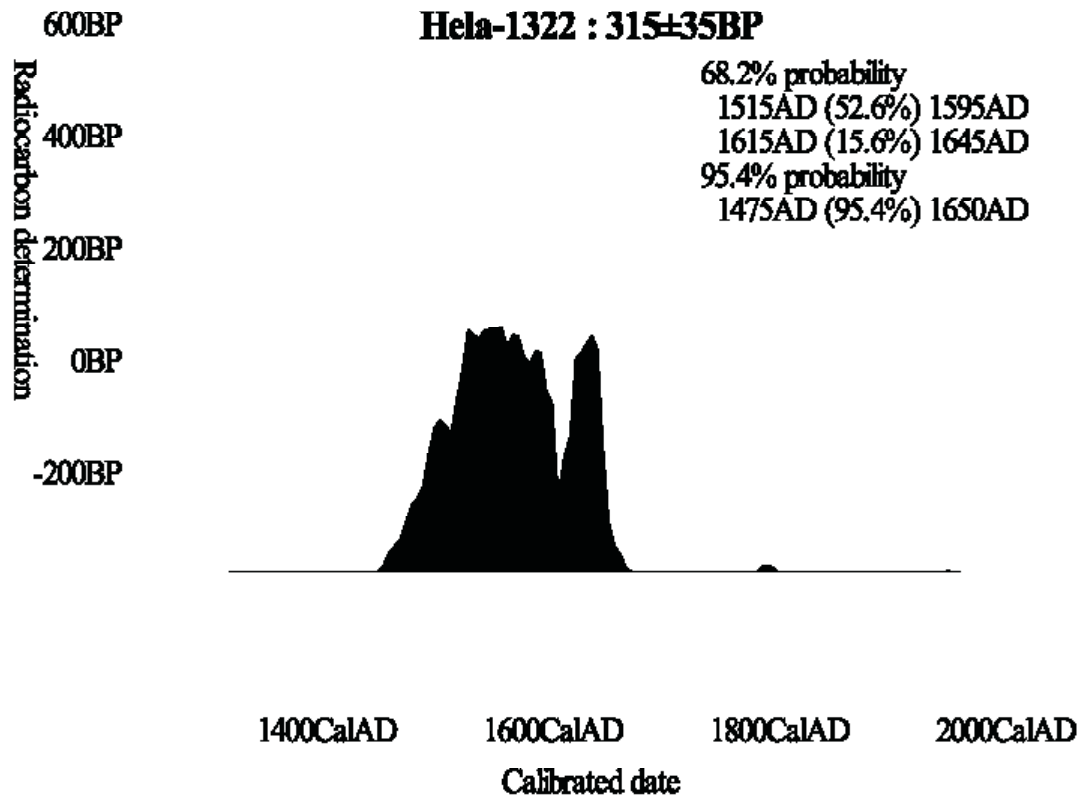
Kuva 63. Joissain Paaskosken näytteissä (Paasi 1) ovat kloridipitoisuudet koholla ja se voi johtua esim. kalan säilytyksessä käytetyn suolan joutumisesta maaperään. (Analyysi TTY, kaavio JJ)



Kuva 64. Paaskosken kuona on samoin rautaoksidia mutta sekä piin, että kalsiumin pitoisuudet jäivät selvästi alle Ahvenkosken kuonan vastaavien pitoisuuksien. (Analyysi TTY, kaavio JJ)



Kuva 65. Pelkistyskokeisiin käytettiin vain Ahvenkosken rautamultaa. Verrattuna Timmermaninsuon limoniittiin, siinä on huomattavasti vähemmän piitä (SiO_2), toisaalta orgaanisten aineiden osuus on lähes kaksinkertainen (C). Alumiinin suhteellisen korkea pitoisuus on samaa luokkaa molemmista malmeissa. Ca- pitoisuus +0,141 %. Ruukki Production/ Analyysilaboratoriot 19.4.2005/ No 0405-2005-0104). (JJ)



Kuva 66. Paaskosken (1322) ja Ahvenkosken (1323) radiohiiliajoitusten mukaan sulatus- ja pajatoimintaa on harjoitettu todennäköisimmin 1500-luvulla. (Jungner 2007)



Kuva 67. Kymijoen läntisen suiston raudansulatuspaikat ja/tai ahjot sijaitsevat Paaskosken, Ahvenkosken sekä Markkinämäen entisten lohikoskien rannoilla. Paaskosken vieressä sijaitsee Koirankallion pronssikautinen asuinpaikka (Miettinen 1998) sekä vähän kauempana Tammijärven itärannalla Majaniemi (Nygård 2005). Molemmilta paikoilta on löytynyt pronssinsulatukseen käytettyjen saviupokkaiden ja valumuottien kappaleita. Koko deltan alueelta löytyy runsaasti rautamultaa ja myös merimalmia. Yläjuoksulla Tammijärven pohjoisista löytyy myös kolikkomalimia. (JJ)

KIRJALLISUUS:

- Anttila, P. 2005.** Tutkiva toiminta. Akatiimi Oy. As Pakett. Tallinn
- Autio, A. 1970.** Aineoppi. Otava. Keuruu
- Buchwald, V.F. 2005.** Iron and steel in ancient times. The Royal Danish Acedemy of Science and Letters. Report Nr. 29
- Creutz, K. 2003.** Tension and tradition. Stocholm universitet. Gummerus
- Hjärthner-Holder, E., Kresten, P., Larsson, L. 1997.** From Known to Unknown. Application of well-known experimental iron production result on archaeological materials. Historical-Archaeological Experimental Centre/ Tecnical Report Nr. 3. 1997. Lejre. Denmark
- Keränen, J., Itävuori, E., Kettunen, P. 1991.** Tampereen teknillinen korkeakoulu. Materiaaliopin laitos. Raportti No 40
- Kresten, P. 1984.** The Mineralogy and chemistry of selected ancient iron slags from Dalarna. Stockholm university. 1983
- Korroosiokäsikirja.** Kunnossapidon julkaisusarja n:n 12. Kunnossapito yhdistys ry. Hamina 2004
- Lavento, M. 1999.** An iron furnace from the early metal period at Kitulansuo in Ristiina. Fennoscandia archaeologica XVI/1999
- Lehtinen, L. 1998.** Kansanomainen raudanvalmistus läntisellä Rantasalmella. Tuusmäen kylätoimikunta ry
- Leppäaho, J. 1949.** Räisälän Hovinsaaren Tontinmäen paja. Suomen Museo 56, Hki
- Leppäaho, J. 1951.** Raudan synnystä Suomen muinaisrunojen ja - löytöjen valossa. Kalevalaseuran vuosikirja 31
- Lähdesmäki, U. 1991.** Rautakautisen sepäntöön kokeileva tutkimus. Turun Maakuntamuseo. Monisteita No 1
- Mandel, M. 2000.** Lihula muinas- ja keskaeg. Eesti Entsüklopeediakirjastus. Tallinn
- Miek-oja, H. M. 1960.** Metallioppi. Teknillisten tieteiden akatemia. Otava
- Miettinen, A. 2002.** Relative Sea Level Changes in the Eastern Part of the Gulf of Finland. AASF/ Geologia - Geographica 162
- Miettinen, T. 1998.** Kymenlaakson esihistoriaa. Kymenlaakson maakuntamuseon julkaisuja NO 26
- Mäki vuoti, M. 2005.** Euroopan rautakautiset yhteydet. Moniste
- Mählberg, T. 1931.** Työkirveen kansanomaisesta valmistuksesta. Sanakirjasäätiön toimituksia No 1
- Nikkilä, E. 1941.** Työkirveen valmistusta Köyliön Tuiskulassa. Kotiseutu 2-3. Forssa
- Pajunen, H. 2000.** Carbon in Finnish lake sediments. Geological Survey of Finland. Special Paper 29
- Peets, J. 2003.** The Power of Iron. Research into ancient times 12. Tallinna Ajaloo Instituut
- Pukkila, J. 1991.** Alkukantainen raudanvalmistus. Turun maakuntamuseon monisteita N:o 1
- Saksa, A. 1998.** Rautakautinen Karjala. Väitöskirja. Joensuun yliopistopaino
- Selirand, J. 1989.** Viron rautakausi. Oulu: Pohjois-Suomen Historiallinen yhdistys
- Suomen Historia.** Rautakausi. Weilin & Göös. Espoo 1985
- Vilkuna, K. 1933.** Alkukantainen tekniikka, teoksessa Suomen Kulttuurihistoria No 1. WSOY. Porvoo

Valokuvat:

© Ruukki Production Oy

© Valimoinstituutti (TTY)

© John Grzinich (JC)

© Jouni Jäppinen (JJ)

