

Niko Anttiroiko

Kokemuksia ristikkäispolarisaatiokuvauksen käytöstä arkeologiassa

Erfarenheter av fotografering med korspolarisation inom arkeologin

Korspolarisation är en fotograferingsteknik som utnyttjar ljusets polarisation och genom vilken man nästan helt kan eliminera direkta reflektioner. Detta framhäver till exempel färger och färgskillnader, som oftast är lättare att urskilja i fotografier tagna med korspolarisation än i vanliga bilder. Ur arkeologisk synvinkel är korspolarisation en brukbar metod till exempel för fotografering av hällmålningar och föremål samt vid fältdokumentation. I den här artikeln presenterar jag kort grundprinciperna för fotografering med korspolarisation, utrustningen samt exempel på metodens användning inom arkeologin.

Ristikkäispolarisaatiokuvaus on valokuvausmenetelmä, joka perustuu nimensä mukaisesti ristikkäisten polarisaattorien käyttöön. Ristikkäispolarisaatiokuvausta käytetään useimmiten suorien heijastusten poistamiseen sekä värien ja värierojen korostamiseen (ks. kuva 1). Ristikkäispolarisaatiokuvaus ei ole kovin yleisesti tunnettu valokuvaustekniikka, mutta sitä käytetään varsin laajasti moniin erikoistuneisiin tarkoituksiin. Yleisesti ristikkäispolarisaatiokuvausta käytetään esimerkiksi öljymaalausten kuvaukseen, jossa menetelmä auttaa poistamaan maalausten pinnassa näkyvät heijastukset. Lisäksi ristikkäispolarisaatiokuvausta hyödyntävät monet hyönteisiin tai sammakkoeläimiin erikoistuneet luontokuvaajat sekä ihotauteihin tai oikeuslääketieteeseen erikoistuneet lääkärit (ks. esim. Marsh 2011). Konservaattorit puolestaan käyttävät ristikkäispolarisaatiokuvausta erityisesti heikosti erottuvien värierojen ja yksityiskohtien kuvaamiseen. Arkeologien keskuudessakaan menetelmä ei ole tuntematon, joskin sen käyttö on painottunut lähinnä

kalliotaiteen tutkimukseen (esim. Olofsson 2007; Henderson 2002; Wainwright 1990).

Tämä artikkeli pohjautuu pääasiassa omiin kokemuksiini ristikkäispolarisaatiokuvauksen käytöstä erilaisissa arkeologiaan liittyvissä kuvaustilanteissa vuodelta 2016. Tapausesimerkkejä kertyi useista eri projekteista ja muutamista erityisesti tätä artikkelia varten tehdyistä kokeiluista. Oma kiinnostukseni ristikkäispolarisaatiokuvausta kohtaan kumpuaa valokuvausharrastuksestani, jonka parissa menetelmälle on paljon muutakin käyttöä.

Valon polarisaatio ja polarisaattorit

Ristikkäispolarisaatiovalokuvausta varten on hyvä tuntea edes hieman valoon ja valon polarisaation liittyvää fysiikkaa, vaikka kovin syvällistä perehtymistä se ei välttämättä edellytä. Tässä artikkelissa olen pyrkinyt

lyhyeen ja yksinkertaistettuun tiivistelmään oleellisimmista asioista. Jos valon polarisaatioon liittyviin ilmiöihin haluaa perehtyä tarkemmin, perustiedot ovat löydettävissä esimerkiksi fysiikan peruskurssitason oppikirjoista (esim. Tipler 1998). Astetta yksityiskohtaisempia esityksiä aiheesta löytyy esimerkiksi optiikkaa käsittelevistä teoksista (esim. Hecht 2014).

Polarisaatio on sähkömagneettisen säteilyn ominaisuus, joka ilmaisee sähkömagneettisen säteilyn värähtelyn suuntariippuvuuden. Ristikkäispolarisaatiokuvauksen kannalta tärkeintä on hahmottaa ero tasopolarisoidun ja polarisoitumattoman valon välillä. Polarisoitumattoman valon värähtelyllä ei ole suuntariippuvuutta, kun taas tasopolarisoidussa valossa värähtely on yhden tason suuntaista.

Useimpien valonlähteiden tuottama valo on sellaisenaan polarisoitumatonta. Tällainen valo voidaan kuitenkin polarisoida polarisaattorin avulla. Polarisaattoriksi kutsutaan optista elementtiä, joka päästää läpi vain sen polarisaatiotason suuntaisen osan valosta. Polarisaattorin toiminnan hahmotamisen kannalta on hyödyllistä jakaa valon värähtely toistensa kanssa kohtisuoriin

x- ja y-komponentteihin. Koska polarisoitumattomassa valossa x- ja y- komponentit ovat yhtä suuret, on polarisaattorin läpi pääsevän polarisoituneen valon intensiteetti puolet alkuperäisen valon intensiteetistä. Jos ensimmäisen polarisaattorin läpi päässyt valo kulkee vielä toisen polarisaattorin läpi, lävitse pääsevän valon osuus riippuu polarisaattorien keskinäisestä asennosta. Jos polarisaattorien polarisaatiotasot asetetaan keskenään ristikkäin, jälkimmäisen läpi ei pääse lainkaan valoa, koska sen polarisaatiotason suuntaisen komponentin osuus valosta on nolla. Jos polarisaattorit taas asetetaan yhdensuuntaisesti, kaikki ensimmäisen polarisaattorin läpi kulkeva valo pääsee esteettä toisenkin läpi. Jos polarisaattorien keskinäinen asento on näiden kahden ääripään väliltä, toisen polarisaattorin läpi pääsevän valon suhteellinen intensiteetti riippuu valon ja polarisaatiotasojen välisestä kulmasta.

Polarisaattorien lisäksi valon polarisaatioon voivat vaikuttaa heijastuminen ja kulkeminen optisesti aktiivisten tai kahtaistaitavien aineiden läpi. Näillä ilmiöillä ei ole merkittävää vaikutusta tässä artikkelissa käsiteltyjen sovellusten kannalta, mutta niiden olemassaolo on hyvä tiedostaa. Ristikkäis-



Kuva 1. Esimerkki ristikkäispolarisaatiokuvauksen vaikutuksista. Vasemmalla on esitetty tavanomainen ja oikealla ristikkäispolarisaatiokuva. Ristikkäispolarisaatiokuvassa taustan värikylläisyys ja kontrasti ovat huomattavasti tavanomaista valokuvaa parempia, eikä pinnoilla esiinny heijastuksia. Suoran heijastuksen puuttumisen vuoksi kahden euron kolikon metallipinta näyttää ristikkäispolarisaatiokuvassa kuitenkin lähes mustalta. Kuva: Niko Anttiroiko.

polarisaatiokuvauksessa kannattaa yleensä välttää tilanteita, joissa polarisoitu valo kulkee tarpeettomasti jonkin läpinäkyvän materiaalin läpi. Esimerkiksi monet läpinäkyvät muovit ovat optisilta ominaisuuksiltaan kah-taistaittavia, minkä vuoksi ne heikentävät polarisaattorien käytöstä saatavaa hyötyä ja voivat aiheuttaa räikeitä interferenssivärejä. Yllättäviä värimuutoksia saattaa aiheuttaa myös joidenkin materiaalien pleokroismi, eli värin riippuvuus valon tulokulmasta ja pola-risaatiosta. Pleokroismia esiintyy esimerkik-si joillakin mineraaleilla, kuten turmaliinilla, kordieriitilla ja hypersteenillä.

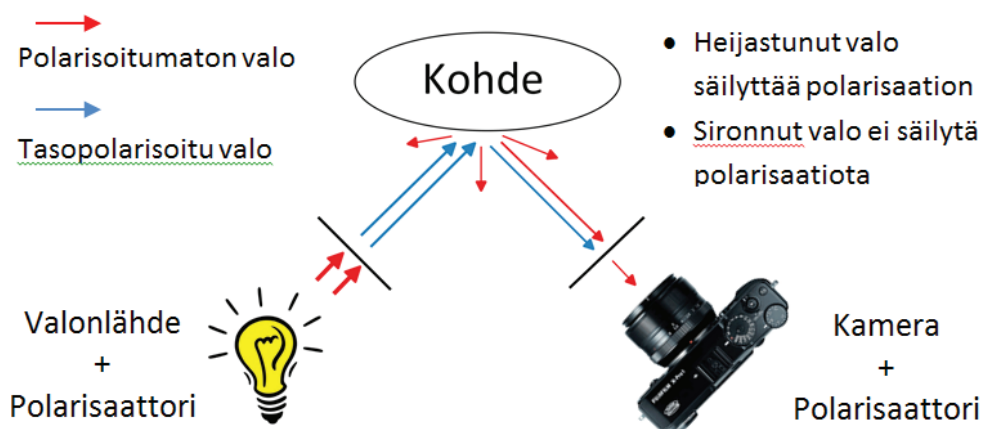
Ristikkäispolarisaatiokuvauksen toimintaperiaate

Ristikkäispolarisaatiokuvauksessa koh-teen valaisuun käytetään tasopolarisoitua kuvausvaloa ja kameran objektiiviin kiin-nitettyä polarisaatiosuodinta (ks. kuva 2). Tasopolarisoitua valoa käytettäessä suorat heijastukset kuvattavan kohteen pinnasta

säilyttävät kuvausvalon polarisaation, mut-ta muilla tavoin siroava valo on pääasiassa polarisoitumatonta. Tämän ansiosta suorien heijastuksien voimakkuuteen on mahdollista vaikuttaa kameran objektiiviin kiinnitetyllä polarisaatiosuodimella. Kun polarisaatiosuo-din käännetään poikittain suoraan heijastu-neen valon polarisaatiotasoa vasten, suora heijastus voidaan eliminoida valokuvasta lähes täysin.

Suorat heijastukset ja heijastusten pois-taminen vaikuttavat syntyvään kuvaan mo-nella tavoin. Koska suoraan kuvattavan kohteen pinnasta heijastunut valo ei sisällä informaatiota kuvattavan kohteen väristä, heijastukset heikentävät aina kuvan värikyl-läisyyttä. Suhteellisen kirkkaina yksityiskoh-tina heijastukset myös palavat helposti puh-ki ja voivat paikallisesti peittää kuvattavan kohteen kokonaan näkyvistä. Tämän vuoksi heijastusten poistaminen kuvista parantaa esimerkiksi värikylläisyyttä huomattavasti.

Yleisissä kuvaustilanteissa esiintyy kah-dentyypisiä suoria heijastuksia. Tasaisilla kiiltävillä pinnoilla suorat heijastukset nä-kyvät usein kirkkaina tarkkarajaisina hei-



Kuva 2. Havainnekuva ristikkäispolarisaatiokuvauksen toimintaperiaatteesta.

jastuksina, joissa saattaa kuvastua käytetty valonlähde. Epätasaisilla pinnoilla suorat heijastukset näkyvät epämääräisempinä diffuuseina heijastuksina, jotka voivat peittää suuren osan kuvattavan kohteen pinnasta. Tarkkarajaiset heijastukset on usein mahdollista välttää valojen ja kameran asentoa säätämällä. Sen sijaan diffuusien heijastusten välttämiseen ei ristikkäispolarisaatiokuvauksen lisäksi ole muita keinoja, joilla heijastukset voitaisiin täydellisesti poistaa.

Tässä vaiheessa on hyvä kiinnittää huomiota siihen, että ristikkäispolarisaatiokuvaus on käytetyn valon suhteen varsin tuhlavaainen menetelmä. Koska useimpien valonlähteiden tuottama valo on sellaisenaan polarisoitumatonta, valonlähteen eteen on kiinnitettävä polarisaatiosuodin, joka vähentää kohteen valaisuun käytettävän valon intensiteettiä 50 %. Kohteeseen osuvasta valostakin vain osa on käytettävissä ristikkäispolarisaatiokuvauksessa, koska kameran objektiivin kiinnitetty polarisaatiosuodin suodattaa suorien heijastusten lisäksi myös 50 % kohteen pinnasta sironneesta polarisoitumattomasta valosta. Tämän vuoksi ristikkäispolarisaatiokuvaus pystyy teoriassa hyödyntämään enintään 25 % valosta verrattuna vastaavaan kuvaustilanteeseen ilman polarisaatiosuotimia.

Ristikkäispolarisaatiokuvauksen onnistumisen kannalta onkin ensiarvoisen tärkeää, että käytetty kuvausvalo on riittävän voimakas suhteessa kuvauspaikalla vallitsevaan valoon. Kuvauspaikalla vallitseva valo on käytännössä aina joko polarisoitumatonta tai vain osin polarisoitunutta, jonka vuoksi vallitsevan valon aiheuttamia suoria heijastuksia ei voida täysin poistaa objektiivin polarisaatiosuotimella. Vallitsevan valon vaikutusta ei käytännössä ole mahdollista välttää kokonaan, ellei kuvaamiseen käytetä esimerkiksi täysin pimeää mustalla heijastamattomalla materiaalilla verhoiltua tilaa. Yleensä kuitenkin riittää, että käyttää vallitsevaan valoon nähden riittävän voimakasta kuvausvaloa. Kuvausvalon voimakkuutta pystyy arvioimaan esimerkiksi kuvaparin avulla. Samasta tilanteesta manuaaliasetuk-

silla otetuissa kuvissa kuvausvalon voimakkuus on riittävä, kun kuva valottuu oikein kuvausvalon kanssa, mutta ilman sitä otettu kuva jää lähes mustaksi.

Välineistö

Ristikkäispolarisaatiokuvauksessa ei välttämättä tarvita kovinkaan monimutkaista kuvauskalustoa. Yksinkertaisimmillaan ristikkäispolarisaatiokuvaukseen riittää kamera, polarisaatiosuodin sekä tasopolarisoitu valonlähde. Itse käyttämäni välineet on esitetty kuvassa 3.

Kameran osalta ristikkäispolarisaatiokuvaus ei aseta erityisiä vaatimuksia, ellei lasketa polarisaatiosuotimen kiinnittämiseen tarvittavaa suodinkierrettä. Käytännössä parhaiten ristikkäispolarisaatiokuvaukseen soveltuvat kuitenkin järjestelmäkamerat, joista löytyy hyvien säätömahdollisuuksien lisäksi myös mahdollisuus kehittyneiden salamajärjestelmien käyttöön. Erityistä huomiota kannattaa kiinnittää käytetyn objektiivin suodinkierteisiin. Osassa edullisempia objektiiveja suodinkierreet liikkuvat esimerkiksi tarkennusta muutettaessa, joka tekee polarisaatiosuotimen oikean asennon säilyttämisestä lähes mahdotonta. Kuvaajan kannalta parempi vaihtoehto onkin kiinteillä suodinkierteillä varustettu objektiivi. Polttovälinsä puolesta useimmat objektiivit soveltuvat ristikkäispolarisaatiokuvaukseen hyvin, lukuun ottamatta kaikkein laajakulmaisimpia objektiiveja.

Kameran suodinkierteeseen kiinnitettäviä polarisaatiosuotimia on olemassa kahta tyyppiä, joista nykyisin on saatavilla lähes yksinomaan niin sanottuja pyöröpolarisaatiosuotimia. Pyöröpolarisaatiosuodin eroaa aiemmista tasopolarisoivista suotimista siten, että kameran puolelle suodinta on lisätty kerros, joka muuttaa polarisoidun valon pyöröpolarisoiduksi. Pyöröpolarisaatiosuotimien etuna on se, että suodinta käytettäessä kameroiden automaattitarkennuksen ja valotusautomaatiikan pitäisi toimia oikein. Vanhempia tasopolarisoivia suotimia käytet-



**Kuva 3. Monipuoliseen ristikkäispolarisaatiokuvaukseen soveltuva perusvälineistö. 1. Salama-
malaite ja polarisaatiosuodin. 2. Kiinteä 50mm f1/1.8 objektiivi ja pyöröpolarisaatiosuodin.
3. Polarisoiavaa kalvoa. 4. Järjestelmäkamera. 5. Runsaasti vara-akkuja salamaa varten.
Kuva: Niko Anttiroiko.**

täessä tarkennus- ja valotusautomaattikka ei välttämättä toimi luotettavasti. Ristikkäispolarisaatiokuvauksen kannalta objektiivin polarisaatiosuotimen tyypillä ei ole vaikutusta.

Sopivan valonlähteen hankinta vaatii hieman viitseliäisyyttä, sillä valokuvaukseen sopivia tasopolarisoituja valonlähteitä ei selaisenaan ole juuri saatavilla. Periaatteessa minkä tahansa valonlähteen tuottama valo voidaan muuttaa polarisoiduksi kiinnittämällä valonlähteen eteen tasopolarisoiva suodin. Tähän tarkoitukseen sopii hyvin esimerkiksi tasopolarisoiva kalvo, jota on saatavissa joistakin valokuvaustarvikkeisiin erikoistuneista liikkeistä. Valonlähteen eteen polarisaatiokalvo kiinnitetään aina uloimmaksi, koska monet materiaalit vaikuttavat lävitseen kulkevan valon polarisaatioon. Suotimen kiinnittämisessä on huomioitava

myös valonlähteen lämmöntuotto, sillä voimakas kuumuus saattaa vahingoittaa muovista polarisaatiokalvoa. Polarisaatiokalvo tulisi vaihtaa uuteen, jos kalvon väri muuttuu kuumuuden vaikutuksesta tai kalvo muuten vaurioituu.

Tärkeimpiä valonlähteen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat teho ja valonlähteen tyyppi. Valonlähteet voidaan karkeasti jakaa jatkuvasti valaiseviin valonlähteisiin ja salamalaitteisiin. Jatkuvasti valaisevien kuvausvalojen etuna on mahdollisuus nähdä valaistuksen ja polarisaattorien vaikutus välittömästi etsimen kautta, mistä on hyötyä erityisesti studio- ja esinekuvauksessa. Jatkuvasti valaisevat valonlähteet kuumenevat kuitenkin tehoonsa nähden voimakkaasti, minkä vuoksi ne eivät sovellu kovin hyvin runsaasti tehoa vaativiin sovelluksiin. Sa-

lamalaitteella voidaan puolestaan tuottaa erittäin kirkas kuvausvalo, joka mahdollistaa ristikkäispolarisaatiokuvien ottamisen jopa ulkona auringonpaisteessa. Salamalaitetta käyttäessä valaistuksen ja polarisaatiosuotimien yhteisvaikutusta ei kuitenkaan näe ennen kuvan ottamista. Salaman ollessa kiinnitettynä kameraan polarisaattorien oikea asento voidaan etsiä ennen kuvauksen aloittamista, jonka jälkeen suotimet voidaan jättää samaan asentoon kuvauksen ajaksi. Salamaa käytettäessä objektiivin polarisaatiosuotimen kehään voi halutessaan tehdä kohdistusmerkit suotimien oikean asennon löytämisen helpottamiseksi.

Salamalla kuvattaessa kannattaa aina käyttää nopeinta mahdollista suljinaikaa. Salaman välähdys on tyypillisesti kestoaltaan noin 1-2 millisekunnin luokkaa. Salaman välähdystä pidemmästä valotusajasta ei ristikkäispolarisaatiokuvauksessa ole valotuksen kannalta mitään hyötyä. Sen sijaan pidemmästä valotusajasta on salamaa käytettäessä suoranaista haittaa, koska pidempi valotusaika kasvattaa kuvauspaikalla vallitsevan polarisoitumattoman valon vaikutusta. Salaman kanssa lyhintä mahdollista valotusaikaa rajoittaa kameran täsmäysnopeus (*sync speed*). Täsmäysnopeudella tarkoitetaan lyhintä suljinaikaa, jolla kamera pystyy täsmäämään salaman välähdyn sulkimen täydellisen avautumisen kanssa. Useimmilla järjestelmäkameroilla täsmäysnopeus on noin 1/200 – 1/250 sekunnin luokkaa. Tätä nopeampia täsmäysnopeuksia tarjoavat esimerkiksi jotkin lehtisulkimella varustetut keskikoon formaatin kamerat. Osalla järjestelmäkameroista täsmäysnopeutta voidaan keinoitekoisesti kasvattaa pidentämällä salaman välähdysaikaa. Käytännössä täsmäysnopeuden keinoitekoinen kasvattaminen kuitenkin laskee hyödynnettävää välähdystehoa merkittävästi, minkä vuoksi tämä ei ole suositeltavaa.

Valonlähteitä on mahdollista käyttää samanaikaisesti useampiakin. Useampaa valonlähdettä käyttäessä on tärkeää saada valonlähteiden polarisaatitasot keskenään mahdollisimman yhdensuuntaisiksi. Tämän vuoksi useampien valojen käyttö lisää nope-

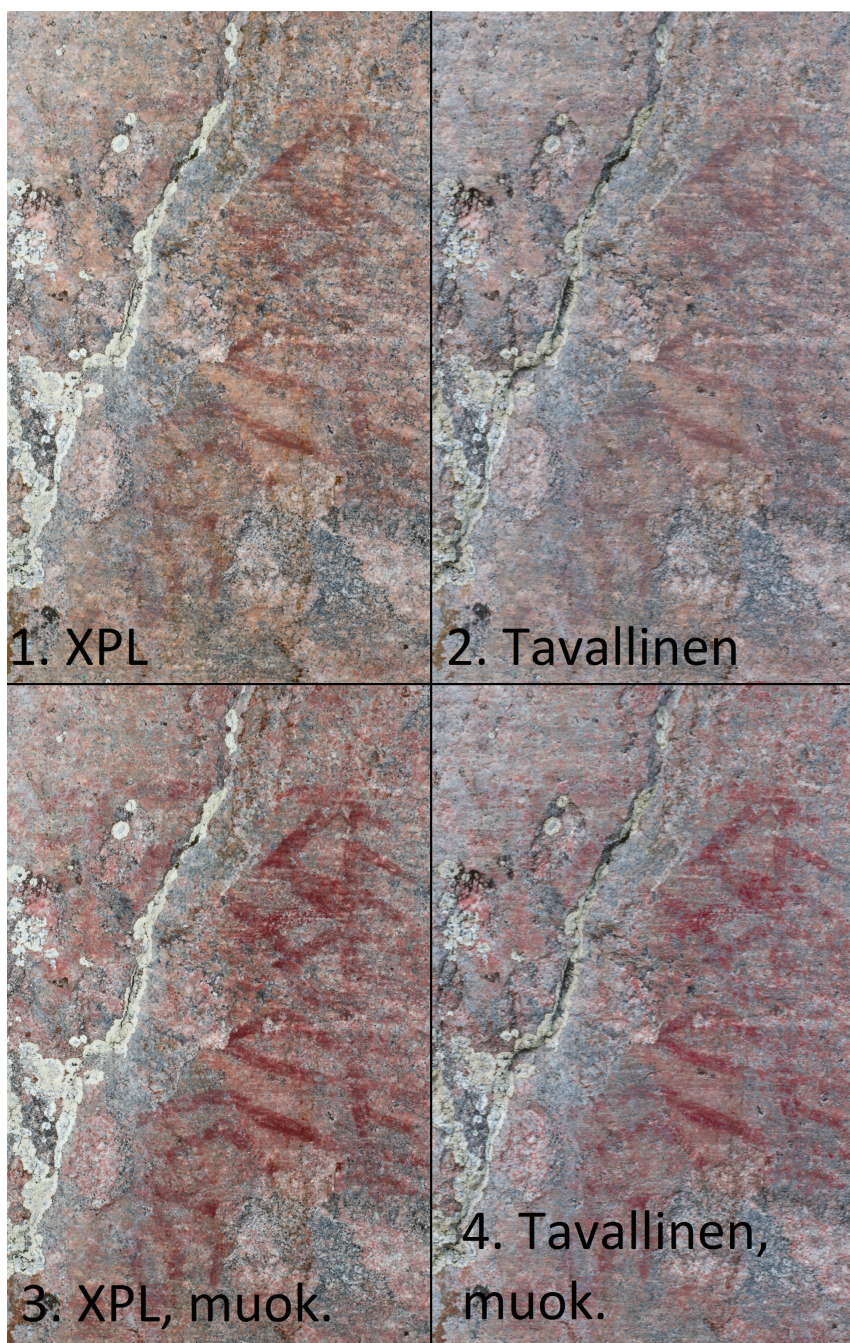
asti valojen säätämisen vaatimaa työmäärää. Useamman valon käyttö tarjoaa kuitenkin monipuolisemmat mahdollisuudet valaistuksen säätämiseen.

Kalliomaalaukset

Kalliomaalaukset ovat kenties ilmeisin ja samalla yleisin ristikkäispolarisaatiokuvauksen käyttökohde arkeologiassa. Kalliomaalauksen tutkimiseen ristikkäispolarisaatiokuvausta on käytetty esimerkiksi Kanadassa, Yhdysvalloissa ja Ruotsissa (Olofsson 2007; Henderson 2002; Wainwright 1990). Suomessa ristikkäispolarisaatiokuvauksen käyttö kalliomaalauksen kuvauksessa on tietävästi ollut toistaiseksi melko vähäistä, mutta menetelmä sinänsä on täälläkin kalliomaalauskuvaajien ja kalliomaalauksia tutkivien arkeologien parissa tunnettu.

Tätä artikkelia varten kävin kuvaamassa Vitträskin kalliomaalausta ristikkäispolarisaatiokuvien ja tavanomaisten valokuvien vertailemiseksi (ks. kuva 4). Käsittelemättömiä kuvia vertailtaessa kalliomaalaukset erottuvat jonkin verran paremmin ristikkäispolarisaatiotekniikalla otetuista kuvista, etenkin kun kuvia tarkastellaan tietokoneelta hyvin suurella suurennuksella. Keskeisin ero kuvissa on se, että ristikkäispolarisaatiokuvissa värialueet ovat tavallista kuvaa selkeämpiä ja tasaisempia. Lisäksi kallion pinnan epätasaisuudet erottuvat ristikkäispolarisaatiokuvissa vähemmän, mikä helpottaa kuvan tulkintaa etenkin suurennoksista. Vitträskin muutenkin selvästi erottuvien verkkokuvuioiden kohdalla ero kuvaustekniikoiden välillä ei ole kovin dramaattinen. Epämääräisempien maalausten kuvaamisessa ristikkäispolarisaatiokuvauksesta saatava hyöty on todennäköisesti suurempi.

Digitaaliseen kuvankäsittelyyn ristikkäispolarisaatiotekniikalla otetut kuvat reagoivat jonkin verran tavanomaisia kuvia paremmin. Tätä artikkelia varten kokeilin RAW-muotoisten kalliomaalauksien jälkikäsittelyä Photoshop Lightroom -ohjelmistolla, jossa kalliomaalauksia vahvistettiin



Kuva 4. Muokkaamattomat ja digitaalisesti käsitellyt versiot Vitträskin kalliomaalauksesta otetuista kuvista. Vasemmalla puolella on esitetty ristikkäispolarisaatiokuvat ja oikealla tavallomaiset valokuvat. Ylärivin kuvat 1 ja 2 esittävät muokkaamattomia kuvia. Alarivin kuvissa 3 ja 4 punaisen sävyjä on vahvistettu digitaalisesti. Kuvien muokatuissa versioissa on käytetty täsmälleen samoja asetuksia. Kuva: Niko Anttiroiko.

muuttamalla punaisten värien sävyä ja kirkkautta paremmin erottuvaksi. Kokemusteni mukaan ristikkäispolarisaatiokuvia ei tarvitse käsitellä kalliomaalausten vahvistamiseksi yhtä voimakkaasti kuin tavallisia valokuvia. Tämä helpottaa luonnollisen vaikutelman säilyttämistä ja vähentää voimakkaasta kuvankäsittelystä aiheutuvia artefakteja, eli näkyviä lieveilmiöitä. Ristikkäispolarisaatiokuvat myös kestävät jonkin verran tavallista kuvaa voimakkaampaa värien ja sävyjen muokkaamista ennen häiritsevien artefaktien ilmaantumista. Paremmat kuvankäsittelyominaisuudet liittyvät luultavasti ristikkäispolarisaatiokuvien puhtaampiin väreihin ja tavallista selkeämpiin värialueisiin.

Esinekuvaus

Esinekuvauksessa ristikkäispolarisaatiokuvauksesta saatava hyöty vaihtelee kuvattavasta esineistöstä riippuen. Eniten hyötyä menetelmästä on kuvattaessa esineitä, joissa on värillistä koristelua tai yksityiskohtia. Tästä syystä ristikkäispolarisaatiokuvaus sopii hyvin esimerkiksi maalilla, lasitteella tai savilietteellä koristellun keramiikan kuvaamiseen. Sen sijaan esimerkiksi pelkin kampaleimoin koristellun keramiikan kuvaamisessa ristikkäispolarisaatiokuvauksesta voi olla jopa haittaa, koska yksivärisellä pinnalla olevat painanteet eivät välttämättä erotu kunnolla ristikkäispolarisaatiokuvissa.

Ristikkäispolarisaatiotekniikka vaikuttaa huomattavasti myös läpinäkyvien materiaalien kuvaamiseen, koska kuvissa näkyvien heijastusten määrä on vähäisempi. Tämän vuoksi esimerkiksi lasi näyttää ristikkäispolarisaatiokuvissa tavallista läpinäkyvämältä. Tästä on hyötyä esimerkiksi lasitteeltaan huonokuntoisen keramiikan kuvauksessa, missä se helpottaa mahdollisen koristelun hahmottamista lasitteen läpi ja tuo lasitteen värin paremmin esiin.

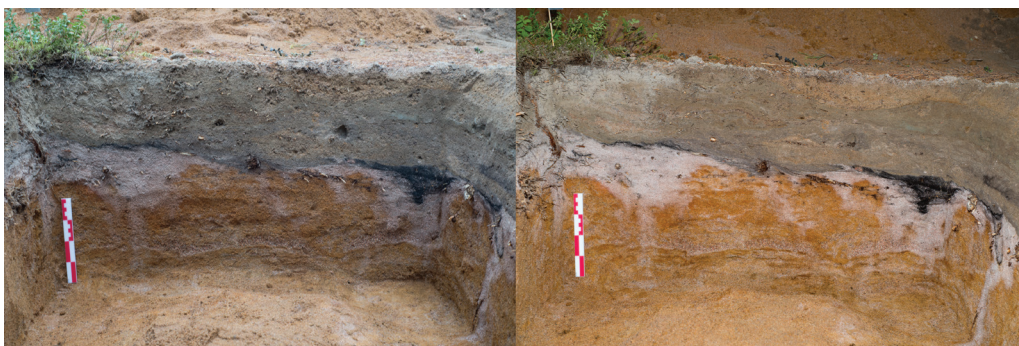
Esinekuvauksessa ristikkäispolarisaatiokuvaus ei kuitenkaan sovellu kaikkeen. Esimerkiksi kiiltävät metallipinnat tai kultaukset saattavat näkyä kuvissa lähes mustina kun polarisaattorit ovat täysin ristikkäin.

Ristikkäispolarisaatiokuvissa on myös hieman vaikeampi hahmottaa esineen kolmiulotteista muotoa tai pinnan tekstuuria. Tämä on ongelmallista jos kuvataan esimerkiksi väriltään tasaisia esineitä, joiden kolmiulotteisuutta halutaan kuvissa näkyviin. Heijastusten määrään ja kolmiulotteisuuden vaikutelmaan on kuitenkin hyvin helppo vaikuttaa muuttamalla polarisaattorien asentoa. Esinekuvauksessa kolmiulotteisuuden vaikutelman luomiseen ei tarvita kovin voimakkaita suoria heijastuksia. Esimerkiksi objektiivin polarisaatiosuotimen kääntäminen noin 5–10 astetta sivuun täysin ristikkäisestä asennosta tuo usein kuvaan riittävästi heijastuksia kolmiulotteisen vaikutelman aikaansaamiseksi yhdistettynä tavallista valokuvaa parempaan värikylläisyyteen.

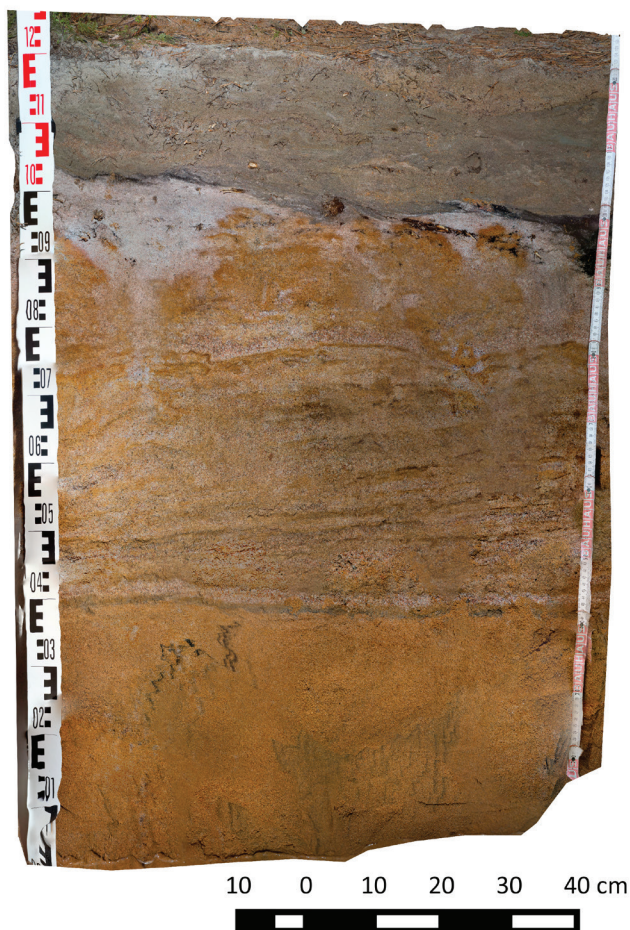
Kenttädokumentaatio

Ristikkäispolarisaatiokuvauksen käyttöä arkeologisten kaivausten dokumentaatiomenetelmänä kokeiltiin Pellon Kaaraneskosken mesoliittisen asuinpaikan tutkimuksissa lokakuussa 2016. Kaaraneskoskella ristikkäispolarisaatiokuvausta kokeiltiin pääasiassa profiilien, kaivaustasojen, sekä erilaisten ilmiöiden ja yksityiskohtien dokumentointiin. Esimerkkejä ristikkäispolarisaatiotekniikalla otetuista kuvista on esitetty kuvissa 5 ja 6.

Maakerrosten väliset värierot erottuvat ristikkäispolarisaatiokuvissa odotetusti huomattavasti paremmin kuin tavanomaisissa valokuvissa. Hieman odottamattomana etuna voidaan mainita myös se, että esimerkiksi lastanjäljet ja muut pienet epätasaisuudet erottuvat ristikkäispolarisaatiokuvissa vähemmän häiritsevästi, mikä selkeyttää ja yksinkertaistaa kuvaa hävittämättä oleellista informaatiota. Kenttädokumentaatiossa ristikkäispolarisaatiokuvauksesta nousi esiin kaksi heikkoutta. Yhteen kuvaan mahtuu ensinnäkin vain suhteellisen pieni alue, jonka koko riippuu pääasiassa salaman tehosta ja vallitsevan valon kirkkaudesta. Kirkkaassa päivänvalossa yhteen kuvaan mahtuu tavalisella yhden salaman laitteistolla parhaimmillaan noin 1,5–2 neliömetrin alue ilman



Kuva 5. Tavallinen valokuva ja ristikkäispolarisaatiokuva koeojan päätyprofiilista Pellon Kaaraneskoskella. Oikeanpuoleisessa ristikkäispolarisaatiokuvassa värierot erottuvat selkeämmin, mutta kolmiulotteisuuden hahmottaminen on vaikeampaa. Kuva: Niko Anttiroiko.



Kuva 6. Ristikkäispolarisaatiokuvista tehty ortokuva koeojan päätyprofiilista Pellon Kaaraneskoskella. Kuvassa on sama profiili kuin kuvassa 4, mutta koeojan päätyä on syvennetty ennen ortokuvan ottoa. Kuva: Niko Anttiroiko.

polarisaattoreista saatavan vaikutuksen merkittävää heikkenemistä. Aluetta voidaan kuitenkin jonkin verran kasvattaa kuvattavaa kohdetta varjostamalla, kasvattamalla salaman tehoa, tai käyttämällä suuremman salaman täsmänopeuden sallivaa kameraa. Toinen keskeinen ongelma liittyy kolmiulotteisuuden hahmottamiseen. Kolmiulotteisuuden vaikutelma jää etenkin kameraan kiinnitetyn salaman kanssa kuvattaessa usein heikoksi, mikä tekee esimerkiksi profiilin reunojen tai tasosta nousevien kivien hahmottamisesta vaikeaa. Tämän vuoksi kenttädokumentaatiossa kannattaa ottaa ristikkäispolarisaatiokuvien lisäksi samasta tilanteesta aina myös tavallinen valokuva.

Fotogrammetria

Useimmat ristikkäispolarisaatiokuvaukseen liittyvät haasteet ovat ratkaistavissa fotogrammetrian avulla. Fotogrammetrian avulla yksittäisistä valokuvista voidaan tehdä tarkkoja 3D-malleja sekä ortokuvia, mikä on tehnyt siitä arkeologien parissa hyvin suosittu dokumentointimenetelmä. Fotogrammetrian käytöstä arkeologiassa ovat kirjoittaneet tarkemmin esimerkiksi Annukka Debenjak ja Erik Kjellman (Kjellman 2012; Debenjak 2015).

Fotogrammetrian käyttö laajentaa ristikkäispolarisaatiokuvauksen käyttömahdollisuuksia kenttädokumentaatiossa merkittävästi. Fotogrammetrian avulla ristikkäispolarisaatiokuvauksella voidaan esimerkiksi dokumentoida kokonaisia kaivaustasoja, profileita, tai kalliomaalauskenttiä joiden mahduttaminen yhteen ristikkäispolarisaatiokuvaan on käytännössä lähes mahdotonta. Samalla fotogrammetria myös tekee ristikkäispolarisaatiokuvauksen käytöstä aiempaa helpompaa. Esimerkiksi kalliomaalauksen kuvaamiseen Ruotsissa käytettiin vuosina 2004–2006 keskikoon formaatin kameraa ja kahta järeää studiosalamaa, jotta koko kalliomaalauspaneeli mahtuisi yhteen kuvaan (ks. Olofsson 2007). Fotogrammetrian avulla sama kohde voitaisiin nyt dokumentoida nopeammin ja tarkemmin taval-

lista järjestelmäkameraa ja salamaa käyttäen. Tästä huolimatta ristikkäispolarisaatiokuvaus on parhaimmillaan melko pienien kohteiden dokumentoinnissa, koska yhteen kuvaan mahtuvan alueen pienenä ja salaman ylikuumeneminen tekevät suurien kohteiden dokumentoinnista melko hidasta.

Ortokuvissa ristikkäispolarisaatiokuvien vahvuudet korostuvat. Esimerkiksi maa-kerrosten ja yksiköiden värierot erottuvat ristikkäispolarisaatiokuvista tehdyissä ortokuvissa usein merkittävästi tavallista paremmin. Ortokuvissa ristikkäispolarisaatiokuville tyypillinen syvyysvaikutelman puute ei myöskään ole merkittävä ongelma, sillä kuva voidaan leikata profiilin tai kaivausalueen reunojen mukaisesti. Tällöin esimerkiksi nurkkien hahmottamiseen liittyvät vaikeudet eivät vaikeuta kuvan tulkintaa. Tasosta tai profiilista esiin pistävät kivet saattavat kuitenkin olla ristikkäispolarisaatiokuvista tehdyissä ortokuvissa hieman tavallista vaikeampia hahmottaa, elleivät ne erotu väritään selvästi ympäröivästä maa-aineksesta. Pellon Kaaraneskoskelta ja muilta kohteilta kertyneiden kokemusten perusteella ristikkäispolarisaatiokuvista tuotettujen ortokuvien laatu on usein merkittävästi parempi kuin tavallisten valokuvien pohjalta tuotetuissa.

Erityistä hyötyä ristikkäispolarisaatiokuvauksesta on mallinnettaessa pinnaltaan voimakkaasti kiiltäviä kohteita, joita on usein haastavaa mallintaa tavanomaisten valokuvien perusteella. Kiiltävillä pinnoilla esiintyvien suorien heijastusten sijainti vaihtelee kuvasta toiseen valonlähteen ja kameran keskinäisestä sijainnista riippuen, minkä vuoksi ne ovat fotogrammetrian kannalta lähinnä häiriötekijä. Ristikkäispolarisaatiokuvauksen avulla heijastukset voidaan poistaa lähes täysin, mikä tekee ristikkäispolarisaatiokuvauksesta fotogrammetrian kannalta ihanteellisen kuvausmenetelmän. Ristikkäispolarisaatiokuvauksen käytöstä kiiltävien kohteiden mallintamiseen löytyykin runsaasti esimerkkejä harrastajien nettikeskusteluista aina tieteellisiin julkaisuihin asti. Esimerkiksi Nicolae ja kumppanit ovat fotogrammetrian kannalta erityisen haastavien esineiden mallintamista käsittelevässä artik-

kelissaan todenneet ristikkäispolarisaatiokuvauksen toimivaksi ratkaisuksi tummien pinnaltaan kiiltävien esineiden 3D-mallintamiseen (Nicolae et al. 2014). Omakohtaisesti olen todennut saman esimerkiksi pinnaltaan märkien hylystä nostettujen dendrokronologisten näytteiden mallintamisessa.

Ristikkäispolarisaatiokuvauksella on merkitystä myös fotogrammetrialla tuotettujen 3D-mallien tekstuurien kannalta. Tietokonegrafiikassa vaikutelma kolmiulotteisuudesta luodaan varjostuksella, jossa näytettävään 3D-malliin lisätään ohjelmallisesti sen muotoa korostavat varjot ja heijastukset. Ideaalitapauksessa 3D-mallin tekstuuri ei itsessään sisällä heijastuksia tai varjoja, koska tekstuurin sisältämät kiinteät heijastukset ovat mallia käännellessä useimmiten ristiriidassa varjostuksen kanssa. Tekstuurin sisältämien ja varjostuksen luomien varjojen ja heijastusten yhteisvaikutus johtaakin helposti sotkuiseen ja viimeistelemättömään yleisvaikutelmaan.

Yhteenveto

Allekirjoittajalle vuoden aikana kertyneiden kokemusten perusteella ristikkäispolarisaatiokuvauksesta on hyötyä monissa arkeologiaan liittyvissä kuvaustilanteissa. Esimerkiksi kalliomaalausten tai kaivausprofiilien dokumentoinnissa ristikkäispolarisaatiomenetelmällä voidaan tuottaa selvästi tavanomaista laadukkaampia kuvia. Viime aikoina ristikkäispolarisaatiokuvauksen käyttömahdollisuudet ovat myös laajentuneet fotogrammetrian käytön yleistymisen myötä. Fotogrammetrian käyttö ratkaisee monia ristikkäispolarisaatiokuvauksen perinteisiä rajoitteita ja toisaalta ristikkäispolarisaatiokuvien ominaispiirteet tekevät niistä fotogrammetrian kannalta ihanteellisia.

Lisäksi ristikkäispolarisaatiokuvaus osoittautui käytössä varsin mutkattomaksi ja tehokkaaksi valokuvausmenetelmäksi, jossa tarvittava välineistö on melko yksinkertaista ja suhteellisen edullista. Ristikkäispolarisaatiokuvaus ei myöskään aseta kovin suuria

vaatimuksia kuvaajan tekniselle osaamiselle, kunhan hallitsee valokuvauksen perusasiat. Monissa haastavammissa kuvaustilanteissa ristikkäispolarisaatiokuvaus on jopa tavallista valokuvausta helpompaa, koska se tarjoaa tavanomaista paremman kontrollin esimerkiksi heijastuksiin.

Aivan kaikkeen ristikkäispolarisaatiokuvaus ei kuitenkaan sovi. Esimerkiksi ulkona päivänvalossa kuvattaessa yhteen kuvaan voidaan mahdollistaa vain suhteellisen pieni alue kerrallaan, minkä vuoksi menetelmä ei sovellu kovin hyvin laajojen kaivausalueiden dokumentointiin. Toinen ristikkäispolarisaatiokuvaan liittyvä ongelma on normaalia valokuvaa heikompi kolmiulotteisuuden vaikutelma, mikä vaivaa erityisesti kameraan kiinnitetyn salaman kanssa otettuja kuvia. Tämän vuoksi ristikkäispolarisaatiokuvaus ei sovellu tarkoituksiin, joissa halutaan korostaa kohteen kolmiulotteisuutta tai esimerkiksi kuvattavan pinnan epätasaisuuksia.

Kiitokset

Lopuksi haluan kiittää kaikkia tämän artikkelin kirjoittamisessa avustaneita. Erityisesti haluaisin kiittää Antti Lahelmaa ja Ismo Luukkosta tiedoista koskien ristikkäispolarisaatiokuvauksen käytöstä kalliomaalausten kuvauksessa sekä Mika Seppälää tiedoista ja esimerkeistä ristikkäispolarisaatiokuvauksen käytöstä konservaattorien parissa.

Bibliografia

Painamattomat lähteet

Kjellman, E. 2012. *From 2D to 3D – A photogrammetric revolution in archaeology?* Master's Thesis, Department of Archaeology and Social Anthropology, University of Tromsø, Norway.

FM Niko Anttiroiko on valokuvausta har-
rastava arkeologian jatko-opiskelija Hel-
singin yliopistossa.
niko.anttiroiko@helsinki.fi

Kirjallisuus

- Debenjak, A. 2015. 3D-mallintaminen osana arkeologista arkea? Digitaalisen fotogrammetrian käyttö arkeologisessa dokumentoinnissa ja tutkimuksessa. *Muinaistutkija* 1/2015: 24–34.
- Hecht, E. 2014. *Optics*. Fourth edition. Pearson.
- Henderson, J. W. 2002. Digitizing the Past: A New Procedure for Faded Rock Painting Photography. *Canadian Journal of Archaeology / Journal Canadien d'Archéologie*, 26(1): 25–40.
- Marsh, N. P. 2011. The Photography of Injuries. Gall, J. & Payne-James, J. (toim.) *Current Practice in Forensic Medicine*. Wiley Blackwell.
- Nicolae, C. Nocerino, E. Menna, F. & Remondino, F. 2014. Photogrammetry Applied to Problematic Artefacts. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XL-5: 451–456.
- Olofsson, K.-J. 2007. Hällmålningstdokumentation i Jämtland. Vilks, J., Taavitsainen, J.-P. & Heikkinen, V. (toim.) IV Mittnordiska Arkeologidagar Saarijärvi 14.–16. Juni 2007. *Keski-Suomi* 20: 65–77.
- Tipler, P. A. 1998. *Physics for Scientists and Engineers*. W.H. Freeman and Company / Worth Publishers, New York.
- Wainwright, I. N. M. 1990. Rock Painting and Petroglyph Recording Projects in Canada. *APT Bulletin*, 22 (1): 55–79.