

Maaston laserkeilausaineistot maa- ja kallioperän korkokuvan ja rakenteiden heijastajana

JUKKA-PEKKA PALMU
JA KEIJO NENONEN

Laserkeilaustekniikka (engl. LIDAR) on yleistynyt maaston korkeusmallituotannossa viimeisen kymmenen vuoden aikana. Suomessa laserkeilaukseen on käytetty helikopteria ja lentokoneita sekä kehitetty aineistojen käyttösovelluksia ja aineistojen jälkikäsittelyohjelmistoja (Hyyppä *et al.* 2009). Laserkeilaus tuottaa maastosta tai tutkittavasta kappaleesta yksityiskohtaista kolmiulotteista tietoa. Laserkeilaustekniikan kehityksen ovat mahdollistaneet lentokoneinertiajärjestelmien, GPS-järjestelmien ja itse laserkeilainten tekniikoiden kehitys. Perusidea on yksinkertainen: kohteen ja laserkeilaimen välinen etäisyys mitataan laserpulssein kulkuajan perusteella. Keilain lähettää laserpulsseja kohteeseen ja mittaa laserpulssein kulkeman ajan keilaimesta kohteeseen ja takaisin. Kun laserkeilaimen asento ja paikka tunnetaan tarkasti, mitattu etäisyys voidaan muuttaa kohteen korkeudeksi ja jokaista laserpulsssia vastaava etäisyys voidaan muuntaa x-, y- ja z-koordinaateiksi paikkatiedostossa. Kustakin laserpulsssista tallentuu myös tieto palautuneen pulssin voimakkuudesta eli niin kutsuttu intensiteettitieto (Jensen 2007, Nenonen *et al.* 2010).

Maaston korkeuden lisäksi laserkeilausaineistojen avulla voidaan tarkastella ja analy-

soida erilaisia maanpinnan muotoja ja rakenteita. Laserkeilausaineistoja sekä uutta korkeusmallia voidaan hyödyntää monenlaisissa, maaperää, kallioperää sekä maanpintaa ja sen muutoksia tutkivissa sovelluksissa. Maaperäsovellukset ovat jo laajasti käytössä maaperäkartoituksen tietosisällön parantamisessa ja entistä tarkempien rakennusgeologisten karttojen laatimisessa. Uusimmat sovellukset on kehitetty kallioperän nuorten siirrosten ja maanvyöryjen tutkimiseen (Sutinen *et al.* 2014). Metsäntutkimuksessa ja metsätaloussuunnittelussa laserkeilauksella on Suomessa laaja sovelluskenttä metsien puusisällön mitauksesta metsien luokitukseen (Maltamo ja Pitkänen 2003).

Maanmittauslaitos (MML) aloitti vuonna 2008 uuden valtakunnallisen korkeusmallituotannon laserkeilaamalla. Tavoitteena on tuottaa entistä tarkempaa korkeustietoa osaksi Maanmittauslaitoksen maastotietokantaa. Keilausaineisto mahdollistaa korkeustiedon entistä laajemmat käyttömahdollisuudet muun muassa erilaisissa geologisissa kartoitus- ja tutkimusprojekteissa. Tuotanto alkoi keväällä 2008; pääosa keilauksista tehdään kilpailutettuina tilaustöinä. Maanmittauslaitoksella on käytössään myös oma laserkeilain. Varsinaista tuotantotyötä omalla keilaimella tehtiin vuonna 2014 noin 8000 neliökilometriä. Omalla laitteistolla tehtävät keilaukset ovat usein pienipiirteisiä alueita, joista samalla lennolla py-



Kuva 1. LIDAR-laserkeilauksen periaate. Mittaus tapahtuu noin 2 km korkeudesta.

Figure 1. The principle of LIDAR scanning. Airborne measurements are taken at an altitude of ca. 2 km.

nä matalimmalta heijastunutta signaalia. Automaattisesti luokiteltu laserkeilauksen pistepilvi on käsitelty valtakunnallisen korkeusmallin perustaksi ja soveltuvaiksi korkeusmallityön lähtöaineistoksi.

Lentokoneesta tehtävällä maanpinnan laserkeilauksella pystytään tuottamaan erittäin tarkkaa 3D-kuvaa. Suomen maapinta-alasta 82 prosenttia on jo laserkeilattu; neljän vuoden päästä (2019) kaikki. MML:n laserkeilausaineistolla päästään si-

ten jo valtaosassa Suomea vähintään 0,3 metrin korkeustarkkuuteen. Pistetiheys on kattavasti vähintään 0,5 pistettä m^{-2} , eli laserpisteiden etäisyys toisistaan on keskimäärin enintään noin 1,4 m.

ritään hankkimaan myös ilmakuvat. Maanmittauslaitoksen itse tekemät ja tilaamat laserkeilaukset tehdään pääsääntöisesti varhaisen kevään aikana.

Laserkeilauksen etuna, verrattuna esimerkiksi digitaalisilta stereoilmakuvilta tehtävään kartoitukseen, on sen ominaisuus tuottaa luotettavaa maanpinnan korkeustietoa metsäisillä ja rehevillä alueilla puiden ja muun kasvillisuuden alta, mihin stereoilmakuvilta ei yleensä nähdä. Vaikka suuri osa laserpulsseista heijastuu suoraan lehvästä ja puustosta, osa tunkeutuu maahan asti lehvästössä olevien pienien aukkojen kautta. Laserkeilaus onkin erityisen tehokas juuri peitteisten alueiden maastomallin tuottamiseen. Maanpinnan korkeusmallia tehtäessä käytetään aina viimeise-

GTK yhdisti maa- ja kallioperäkartat tarkkaan korkeustietoon uudessa karttapalvelussa

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on avan-
nut ilmaisen Maankamara-nimisen karttapalvelun, jonka käyttöön riittää tavallinen verkkoselain. Palvelussa yhdistyvät muun muassa tarkka korkeusmalliaineisto, maa- ja kallioperäkartat sekä ilmakuvat. Maankamara-palve-

lu korvaa GTK:n vanhan Geokartta-palvelun. Linkki Maankamara-palveluun on GTK:n karttapalveluiden verkkosivulla, josta löytyy myös mobiilisovelluksen koekäyttöversio.

GTK on tuonut uuteen palveluun varjostustekniikan, jolla osoitettu korkokuvatieto nostaa maaperäkarttojen käyttöarvoa ja tekee kartoista paremmin itsensä selittäviä. Esimerkiksi kalliot ja harjut erottuvat helposti visuaalisesti ympäristöään korkeampina paikkoina. Palvelu tarjoaa käyttöön portaattomasti skaalautuvan, parhaan mahdollisen saatavilla olevan aineiston kultakin alueelta. Useita karttatasoja voi olla auki samanaikaisesti. Karttanäkymän luettavuutta ja ymmärrettävyyttä voi parantaa säätämällä karttatasojen läpinäkyvyyttä.

Maankamara-palvelun pohjakartat ja ilmakehän aineisto tulevat Maanmittauslaitokselta. Korkeusmalli- ja laserkeilausaineistojen lähtöaineisto on myös MLL:n tuottamaa, mutta visualisointi on toteutettu GTK:ssa. Palvelussa ovat nähtävissä maa- ja kallioperän yleiskarttojen sekä korkeusmallin lisäksi esimerkiksi hallinnolliset rajat, suojelualueet, kiinteistöt ja valuma-alueet. Alasvetovalikosta on valittavissa 11 eri karttatasoa. Maaperäkartat ovat mittakaavoissa 1 : 1 000 000, 1 : 200 000, 1 : 50 000 ja 1 : 20 000, kallioperäkartat mittakaavoissa 1 : 1 000 000 ja 1 : 200 000. Muut karttatasot ovat meteoriitti-iskemät, tektoniset rakenteet, juonet, litologinen suuntaus ja siirrokset.

Palvelu auttaa ymmärtämään ympäristöä ja luontoa

GTK on tehnyt Maankamara-palvelun kaikkien hyödynnettäväksi. Potentiaalisia käyttäjiä ovat esimerkiksi geolan ammattilaiset, ympäristösektori, maa- ja metsätalous, kaavoittajat ja maankäytön suunnittelijat, luontoharrastajat sekä maantieteen ja biologian opettajat.

Kansalaiset voivat havaita palvelusta kotiseutunsa pinnanmuodoista asioita, joita ei maastossa liikkueensa muuten huomaa. Palvelusta pystyy katsomaan vaikkapa omat marja- tai metsämaansa. Palvelu auttaa myös esimerkiksi rinteiden jyrkkyyden arvioinnissa, mitä voi hyödyntää kulkukelpoisen retkeilyreitin suunnittelussa.

Maa- ja kivilajien sekä muodostumien havainnoinnin lisäksi kartoista on mahdollis-

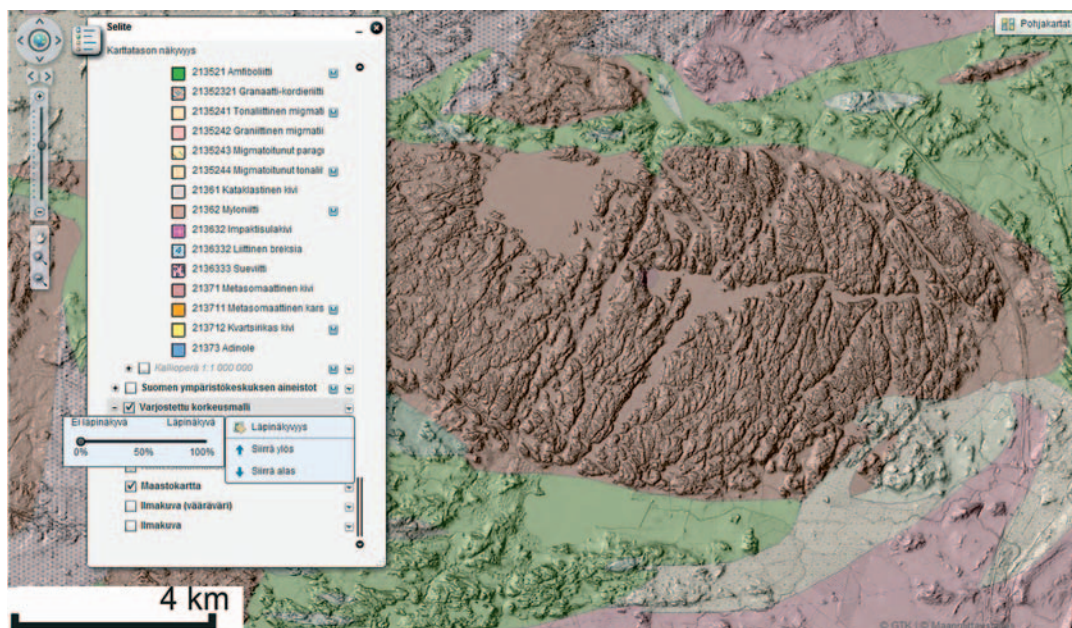
MAANKAMARA-PALVELU VERKOSSA:

<http://www.gtk.fi/tietopalvelut/karttapalvelut/>

ta havaita vaikkapa muinaisen asutuksen jälkiä. Maankamara-palvelua voi hyödyntää myös pelkän pohjakartan ja korkeusmallin kanssa ilman geologisia maa- ja kallioperätietoja.

Kivilajien kulutuserojen heijastuminen korkokuvassa

”Suomalaisen maiseman perusrungon ja rytmin aikaansaa ikivanha kova ja kiteinen kallioperämme”, todetaan Rautamäen (1989) laatimassa oppaassa *Maisema rakentamisen perustana*. Tämä hienosti lausuttu maisema-arkkitehtoninen totuus saa lisäpontta nyt karttuvassa maaston laserkeilausmallissa. Maaperä verhoaa vain ohuena peitteenä kallioperää laajoilla alueilla ja kallioperän ominaispiirteet paistavat maaperän läpi, vaikka vain noin 3 % kallioperästämme on paljastuneina avokallioina ja noin 10 % maa-alasta on alle metrin paksuisen irtomaapeitteen verhoamaa. Muutoinkin irtomaapeitteemme on yleensä alle kymmenen metrin paksuista, jolloin kalliopinnan topografia yleensä määrää alueellista korkokuvaa. Jo topografikartoilla on näkyvissä eri kivilajialueiden eroosiokestävyyden erot ja erityisen selvästi ne tulevat esille tarkassa laserkorkeusmallissa.



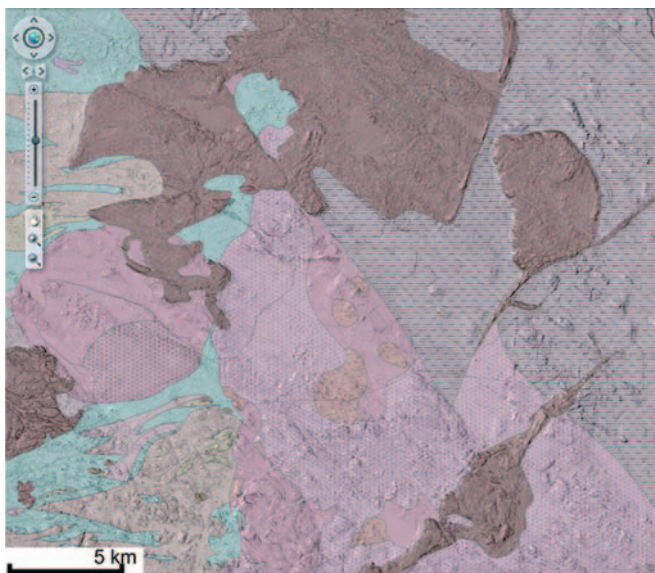
Kuva 2. Hyvinkään gabron (tummanruskea kivilajialue) mosaiikkimainen särkymärakenne. Kuvassa vasemmalla oleva selite esittää, kuinka varjostuskuvan läpinäkyvyyttä voidaan säätää. Copyright © Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos.

Figure 2. Hyvinkää gabbro (dark brown area) exhibiting a mosaic-like fracture structure. The map legend on the left displays the user interface with theme transparency and other controls. Copyright © Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos.

Hyvä esimerkki on Hyvinkään musta gabro (kuva 2), joka on sitkeä ja erityisen kulumuskestävä kivilaji. Hyvinkään gabro erottuu suuntauksettoman rakenteensa vuoksi selvästi ympäristöstään korkokuvassa. Siinä on kerrosmaisia koostumusvaihteluja, joita voidaan pitää kerrosintrusioina. Kivilajin rakenteen vaihtelu ja heikkousvyöhykkeet näkyvät erityisen selvästi laserkorkeusmallissa. Hyvinkään gabro muodostaa yhtenäisen massiivin, jonka sisällä on tavattu pienehköjä osueita peridotiittia ja anortosiittia sekä suurimittaista vaihtumista dioriitiksi. Gabro on keskirakeista, joskus paikallisesti karkearakeista pyrokseenigabroa (Härme 1978).

Esimerkkikuvassa Satakunnasta (kuva 3) näkyy diabaasijuonien suuri kulumuskestävyys-ero verrattuna alustan Jotuniseen hiekkakiveen Porin seudulla. Hiekkakiveä loivasti leikkaa-

vat postjotuniset diabaasit ovat koostumukseltaan oliviinitholeiitteja ja rakenteeltaan usein ofiittisia. Kivilaji on varsin kovaa, sitkeää ja hyvin kulumusta kestävä, erinomaista esimerkiksi ratasepeliksi tai AI-luokan asfaltin pinnoitekiveksi. Hiekkakivi sen sijaan on haurasta ja hieman huokoista, kvartsi- ja maasälpärakeista pääosin koostuvaa muinaista joksuiistohiekkaa, jossa iskosaineena ovat kvartsi ja savimineraalit. Hiekkakiven kerrosrakenteet ovat hyvin säilyneet, mikä edelleen edistää kivilajin kulumista muun muassa jäätikköeroosion vaikutuksesta. Korkokuva harjanteineen noudattaa melko tarkasti diabaasijuonten sijaintia ja mutkittelua. Juonet ovat maapinta-leikkaukseltaan vaakasuuntaisia ja peittävät hiekkakiveä useiden neliökilometrien laajuisina laattoina. Alkuperältään ne lienevät hiekkakiveen vaakasuoraan, kerrosmyötäisesti tun-



Kuva 3. Satakunnan kallioperän erikoispiirteitä ovat hiekkakivi (harmaa kivilajialue), rapakivi-graniitti (punertavat alueet) ja diabaasijuonet ja -lakkoliitit (tummanruskeat vaakatasossa olevat laatta-maiset diabaasin kerrosmyötäiset juonet). Copyright © Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos.

Figure 3. In Satakunta, southwestern Finland, the bedrock is dominated by sandstone (grey), rapakivi granite (pink and reddish areas) and dolerite/diabase dikes and laccoliths (dark brown). Copyright © Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos.

keutuneita rakopurkauksia, jotka ovat toimineet kilpitulivuorten purkaukskanavina.

Suurten kivilajimuodostumien kontaktit näkyvät usein hyvin laseraineistossa. Rapakivi-intruusioiden rajat voi usein erottaa aineistossa ja kallioperän rikkonaisuus tulee mainiosti esille mm. pääkaupunkiseudun aineistossa. Nuuksion kansallispuistossa (kuva 4) kallioperä dominoi maisemakuvaa ja alue on suurelta osin avokallioiden leimaamaa; vain ohut maapeite moreenia ja rantakerrostumia verhoaa paikoin kallioperää. Kallioperän rakoilu, siirrokset ja heikkousvyöhykkeet näkyvät alueella vesistöjen ja soiden mosaiikkina (Haavisto-Hyvärinen *et al.* 2013).

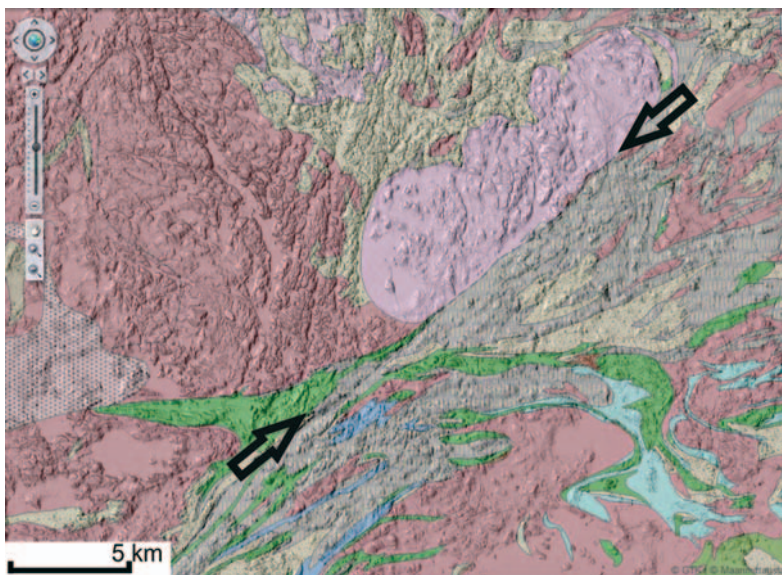
Maaperäsovelluksia laseraineistosta

Ohuenakin peitteenä maaperä muodostaa maanpinnan muotoja runsaalla 80 % maa-alastamme. Maaperän pintamuodot silottavat ja osittain peittävät kallioperän usein jyrkkiäpiirteisiä ja karkeit pinnanmuotoja. Maaperän pinnanmuodot muodostavat sen ympäristön, jossa pääosin rakennamme, liikumme ja hyödynnämme luonnonvaroja.

Maaperän pinnanmuodot johtuvat luonnollisesti maaperän syntyolosuhteista jääkaudella ja sen sulamisvaiheesta sekä Itämeren eri vaiheissa. Jäätikkösyntyinen pohjamoreeni ja moreenimuodostumat peittävät runsasta 50 % maa-alastamme, kun taas suokasvillisuuden peitossa on kolmannes maa-alasta, joskin vain 15 % on vähintään 30 cm paksujen turvekerrostumien peittämää. Postglasiaaliset siirrokset, rapautumismuodot ja periglasiaaliset ikeiroutaan liittyvät prosessit ovat muokanneet maisemaa pienialaisesti varsinkin Pohjois-Suomessa.

Tähän mennessä laserkorkeusaineiston ja maaperäkartoitusaineiston yhteiskäyttöä on hyödynnetty muun muassa suurimittakaavaisen rakennusgeologisten karttojen laatimiseen, turvemaiden kartoitukseen ja inventointiin, muinaisrantojen kartoitukseen ja mittaamiseen, pohjavesimuodostumien rajaamiseen ja tutkimiseen, kiviainesten ottoaikkojen tutkimiseen sekä jäätikön virtaus- ja kuljetussuuntien määrittämiseen.

Suuret reunamuodostumat näkyvät korkeusaineistossa erityisen hyvin kaikkine yksityiskohtineen. Pienimmätkin maaston piirteet



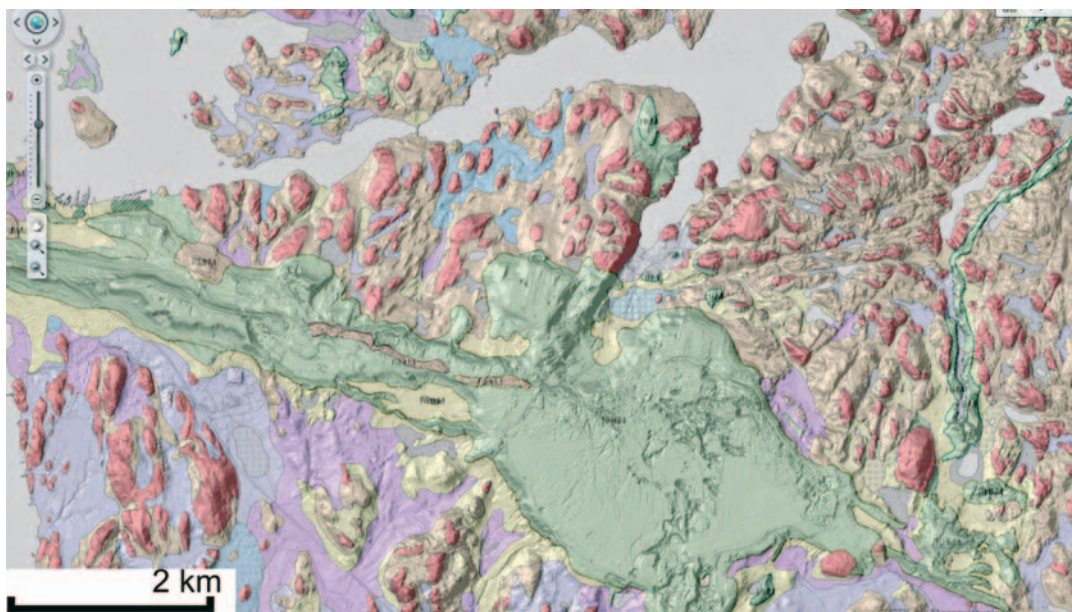
Kuva 4. Pääkaupunkiseudun ja Nuukion alueen rikkonaista kallioperää. Porkkala-Mäntsälä -rikkonaisuusvyöhyke ja -siirroslinja (mustat nuolet) jakavat alueen kahteen osaan. Copyright © Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos.

Figure 4. The broken and fragmented bedrock structure of the greater Helsinki area and the Nuukio national park. Porkkala-Mäntsälä shear zone divides the map area into two sub-regions, marked with black arrows. Copyright © Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos.

tulevat esiin tarkasti kuten esimerkkikuva Vesivehmaalta II Salpausselän sandur-deltalta (kuva 5) näyttää (vrt. Saarnisto *et al.* 1994). Sandurin pinnalla olleet jäätikön sulamisvaiheen joki ja puroumat näkyvät selvästi samoin kuin muodostuman proksimaaliosassa jäätikön puskun aiheuttamat virtaviivaiset kuurrot sekä puskumoreenivallit. Pienipiirteisiä muodostumia on usein vaikea erottaa peitteisessä maastossa tai ilmakuvilta, joissa myös kasvisto peittää pienimmät piirteet.

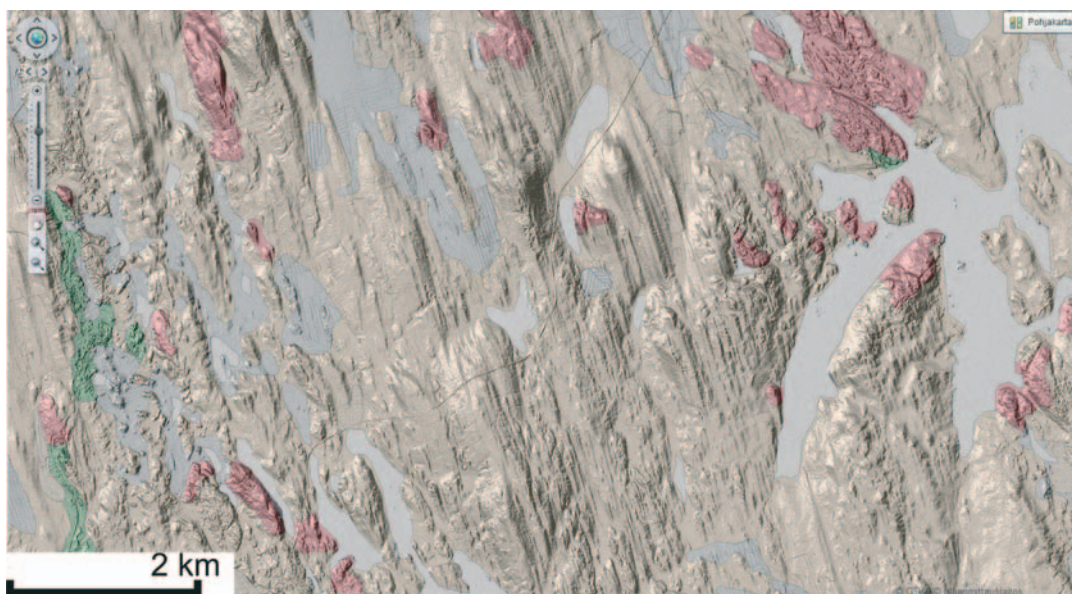
Suomalaisen maiseman erityispiirteitä ovat jäätikön kulutuksen ja kerrostumisen synnyttämät virtaviivaiset moreenimuodot: drumliinit, fluting-selänteet, kallioperään syntyneet vakoumat sekä silottuneet kalliomuodot (Mäkinen *et al.* 2007). Keski-Suomessa ja Etelä-Savossa laajat alueet ovat kauttaaltaan virtaviivaisten moreenimuodostumien, drumliinien, peitossa. Esimerkkikuvassa Kangasniemen

Kutemajärveltä (kuva 6) erikokoiset drumliinit juovittavat maaston ja vaihtuvat saunatomasti pitkiin ja kapeisiin fluting-selänteisiin. Kalliokohoumat drumliinien kärjissä (proksimaalipaissa) näyttävät usein aiheuttaneen moreeniamaisen kerrostumisen distaalipuolen virtaviivaiseksi moreenimuodostumaksi. Leikkaus- ja luotaustietojen mukaan moreenikerrostuman paksuus distaalipuolen hännässä voi olla yli kymmenen metriä (vrt. Glückert 1973). Keski-Suomen ja Pieksämäen drumliinikenttä on pinta-alaltaan ja muodostumamäärältään Suomen suurin. Laaja viuhkan muotoinen kenttä kuvastaa jään aktiivista virtausta Järvi-Suomen jäätikkökielekkeessä kohti Salpausselkien kohdalla ollutta jäätikön reunaa. Drumliinikentän keskiosissa jäätikön voimakkaimman virtauksen alueella maasto on lähes kauttaaltaan drumlinisoitunut kuten kuva Kutemajärveltä näyttää.



Kuva 5. II Salpausselkä Asikkalassa ja Vesivehmaankankaan sandurdelta (vihreä hiekkasoram muodostuma). Copyright © Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos.

Figure 5. Salpausselkä II in Asikkala, featuring the sandur plains and delta of Vesivehmaa (the green sand and gravel deposit). Copyright © Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos



Kuva 6. Pieksämäen drumliinikentän keskiosaa Kangasniemen Kutemajärven seudulla. Mannerjäätikön voimakkaan liikkeen suunta on ollut pohjoisluoteesta eteläkaakkoon. Virtaviivaisia drumlineja sisältävä moreenialue karttakuvassa ruskealla värillä. Copyright © Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos.

Figure 6. The central part of Pieksämäki drumlin field in Kangasniemi, Kutemajärvi. The dominant ice flow direction was from NNW. Drumlins are the streamlined moraine deposits in the brown-colored areas.

English summary:

Terrain models produced by LIDAR scanning reflect the relief and structure of the bedrock and Quaternary overburden

Digital elevation maps generated by airborne laser scanning (LIDAR) have led to significant advances in interpretation of geological formations and deposits. In Finland the technology has been used by the National Land Survey of Finland since 2008; today approximately 80 % of the land area has been measured and scanned by LIDAR. Geological Survey of Finland (GTK) has recently published a new service where LIDAR-scanned terrain models can be attached and integrated with the best available Quaternary geological digital survey material and bedrock information. The service is called *Maankamara* and is available online at the GTK's map product service.

The ability of LIDAR to detect topographic features such as bedrock morphology, lineaments and glacially sculptured landforms, to measure the land-surface elevation beneath the vegetation canopy, and to detect terrain and morphology has varied between repeated surveys. Here, three informative examples from bedrock applications and two images from glacial geomorphology are presented. New geological applications for accurate elevation data are constantly developing. By 2019 the whole land area of Finland will be LIDAR-scanned and the field is open for new innovations and uses.

JUKKA-PEKKA PALMU

KEIJO NENONEN

Geologian tutkimuskeskus

PL 96

02151 Espoo

jukka-pekka.palmu@gtk.fi

keijo.nenonen@gtk.fi

Kirjallisuus

- Glückert, G. 1973. Two large drumlin fields in central Finland. *Fennia* 120. 37 s.
- Haavisto-Hyvärinen, M., Kielosto, S., Stén, C.-G., Grönholm, S., Palmu, J.-P., Kananoja, T., Saresma, M., ja Eklund, M. 2013. Nuuksio = Noux : geologinen retkeilykartta ja opaskirja = geologisk friluftskarta och guidebok = geological outdoor map and guidebook 1 : 25 000. 2. uudistettu painos, Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 72 s.
- Hyypä, J., Wagner, W., Hollaus, M., ja Hyypä, H. 2009. Airborne Laser Scanning. Teoksessa: Warner, T. A., Nellis, M.D., Foody, G. M. (toim.). *The SAGE Handbook of Remote Sensing*, SAGE Publications Ltd, London, 199–211.
- Härme, M. 1978. Keravan ja Riihimäen kartta-alueitten kallioperä. Summary : Precambrian rocks of the Kerava and Riihimäki map-sheet areas. Suomen geologinen kartta 1 : 100 000. Kallioperäkartan selitykset, 2043 Kerava ja 2044 Riihimäki. 51 s.
- Jensen, J.R. 2007. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. 2. painos. Prentice Hall, Upper Saddle River. 592 s.
- Maltamo M. ja Pitkänen J. 2003. Laserkeilauksen metsätaloudelliset sovellusmahdollisuudet. Pikseleitä ja pistepilviä – kuvauksen uudet ulottuvuudet. Maanmittaustieteiden päivät 20.–21.11.2003. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu 40:72–79.
- Mäkinen, K., Palmu, J.-P., Teeriaho, J., Rönty, H., Rauhaniemi, T. ja Jarva, J. 2007. Valtakunnallisesti arvokkaat moreenimuodostumat. Suomen ympäristö 14/2007. 120 s.
- Nenonen, K., Vanne, J. ja Laaksonen, H. 2010. Laserkeilaus – uusi menetelmä geologiseen kartoitukseen ja tutkimukseen. *Geologi* 62:62–69.
- Rautamäki, M. 1989. Maisema rakentamisen perustana. 2. selvitys. Ympäristöministeriö, Valtion painatuskeskus, Helsinki. 48 s.
- Saarnisto, M., Rainio, H. ja Kutvonen, H. (toim.) 1994. Salpausselkä ja Jääkaudet, Geologian tutkimuskeskus, Opas 36, Geologian tutkimuskeskus ja Lahden kaupungin museo, Lahti, 50 s.
- Sutinen R., Hyvönen, E. ja Kukkonen, I. 2014. LiDAR detection of paleolandslides in the vicinity of the Suasselkä postglacial fault, Finnish Lapland. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 27:91–99.