

Muinaisrantojen tietokanta – esimerkkejä tietoaineiston hyödyntämisestä

ANTTI E.K. OJALA, JUKKA-PEKKA PALMU, SUSANNE ÅBERG JA ANNIKA ÅBERG

Suuri osa Suomesta on ollut peittyneenä veden alle Veiksel-jääkauden mannerjäätikön sulamisen jälkeen. Maan kohoaminen (isostasias) ja valtameren pinnan korkeuden muutokset (eustasia) ovat muuttaneet maamme pinnanmuotoja ja korkeussuhteita sekä vaikuttaneet Itämeren altaan eri kehitysvaiheisiin. Niiden lisäksi Itämeren vaiheita ovat säädelleet mannerjäätikön patoava vaikutus, rantapintojen kallistuminen epätasaisen maankohoamisen seurauksena sekä valtameriyhteyden avautuminen ja sulkeutuminen eri aikoina (mm. Fairbanks 1989, Björck 1995, Andrén et al. 2000). Yhdessä ne ovat aiheuttaneet ilmiön, joka tunnetaan rannansiirtymisenä. Rannansiirtymisellä tarkoitetaan veden ja maan rajan suhteellista siirtymistä ylös maalle tai alas ulapan suuntaan ajan kuluessa.

Rannansiirtymistä on tutkittu Suomessa ja muualla Pohjoismaissa jo vuosikymmeniä, koska glasiaali-isostasian ja eustasian aiheuttamilla muutoksilla on suurta merkitystä mm. Itämeren vaiheiden ja nykyisen rantaviivan sijainnin, järviemme paleohydrologisen kehityksen sekä maaperämuodostumien ilmenemisen kannalta (mm. Saarnisto 1970, Palmu 2011, Kakkuri 2012). Kerrostumisen aikainen veden syvyys sekä rantaviivan sijainti ovat vaikuttaneet mm. glasifluvialisten sora- ja hiekkava-

rojen sekä savikerrostumien esiintymiseen ja ominaispiirteisiin Suomessa. Rannansiirtymisestä ja muinaisrantojen sijainneista post-glacialisella ajanjaksolla onkin runsaasti havaintoja Suomessa (mm. Ramsay 1924, Glückert 1976, Saarnisto 1981, Ristaniemi 1987). Ne voidaan jakaa karkeasti kahteen päätyyppiin, eli kuroutumishavaintoihin sekä havaintoihin rantamuodostumista, joita ovat esimerkiksi lohkarovyöt, moreenikalotit, deltatasantteet sekä rantavallit. Kuroutumishavainnot puolestaan perustuvat sedimenttistratigrafisiin tutkimuksiin, joissa järvisedimenttien ja soiden turve/lieju/savi -profiilien litostratigrafian ja piileväisällön perusteella on päätelty missä vaiheessa kyseiset altaat ovat kuroutuneet muinaisesta Itämerestä. Kuroutumishorisontit on pääsääntöisesti ajoitettu ¹⁴C-menetelmän avulla. Tutkittujen pistemäisten havaintojen perusteella on voitu rekonstruoida Itämeren jääkauden jälkeisten vaiheiden vedenpinnan korkeuksia ja niitä vastaavia rantapintoja sekä paikallisesti (mm. Eronen et al. 1995) että alueellisemmin kattaen koko Suomen maankamaran (mm. Eronen ja Haila 1992, Tikkanen ja Oksanen 2002).

Muinaisrantoja ja rannansiirtymistä kuvaavia havaintoja ei ole kuitenkaan systemaattisesti kerätty ja luokiteltu koko Suomen alueelta yleisesti saatavilla olevaan tietokantaan.

On itse asiassa usein hyvin hankala tarkasti tietää, mihin havaintoihin menneinä vuosikymmeninä esitetyt muinaisten rantapintojen rekonstruktiot perustuvat. Nyt tehdyn työn tarkoituksena oli muodostaa paikkatietojärjestelmiin (mm. ArcGIS) soveltuva tietokanta, johon voidaan systemaattisesti kerätä ja luokitella eri-ikäisiä rantapintahavainnoja sekä tarjota tallennettua paikkatietoaineistoa objektiivisesti tiedeyhteisön käyttöön. Tietokanta nimettiin ”muinaisrantojen havainnot” -tietokannaksi, josta käytetään nimitystä Ancient Shoreline Database (ASD). Se on pyritty suunnittelemaan siten, että se soveltuu niin Itämeren eri kehitysvaiheiden kuin myös paikallisten jäärjärvien ja muinaisten suurjärvien kehitykseen liittyvien rantahavaintojen tallentamiseen. Työn ensimmäisessä vaiheessa keskityttiin kuitenkin keräämään havaintoaineistoa liittyen ylimmän rannan tasoon (Åberg 2013a) sekä Litorinameren maksimilaajuuteen eri puolilla Suomea (Åberg 2013b). Aineiston keräämisen yhteydessä havainnot luokiteltiin tietokantaan mm. rantatyyppin, rantavaiheen sekä erilaisten maantieteellisten perussuureiden mukaisesti. Lisäksi kullekin havainnolle annettiin luotettavuusluokittelu asteikolla 1–5 sen mukaisesti, kuinka luotettavaksi havainto voitiin määrittää esimerkiksi muodostuman laadun, sijainnin tai alkuperäisen korkeuden perusteella. Tietokannan rakenteen tarkempi kuvaus, aineiston kerääminen ja luokittelu, rantapintojen interpolointi sekä aineistosta tuotetut veden koskemattoman (supra-akvaattinen) ja Litorinameren peittämien alueiden kartat on esitetty julkaisuissa Åberg (2013a), Åberg (2013b) ja Ojala et al. (2013). ASD-tietokantaan on tähän mennessä tallennettu 1625 havaintopistettä, joista 686 liittyy Litorinameren maksimilaajuuteen ja 790 ylimmän rannan tasoon Suomessa. Loput 149 havaintopistettä liittyvät paikallisten jäärjärvien muinaisrantahavaintoihin.

Tässä julkaisussa esitetään yhdistetty teemakartta supra-akvaattisten alueiden ja Litorinameren peittämien alueiden jakautumisesta Suomessa, sekä annetaan alueellisempi esimerkki muinaisen rantaviivan ylä- ja alapuolisten alueiden laskennallisesta korkeusmallista. Lisäksi julkaisussa kuvataan, kuinka aineiston läpikäynnin yhteydessä on hyödynnetty mm. olemassa olevia laserkeilaukseen (LiDAR, Light Detection And Ranging) perustuvia digitaalisia korkeusmalleja (DEM, digital elevation model) ja GTK:n ylläpitämiä digitaalisia maaperäaineistoja, sekä esitetään joitakin tutkimussovelluksia, joissa nyt tuotettua rantapintoihin liittyvää paikkatietoaineistoa voidaan hyödyntää.

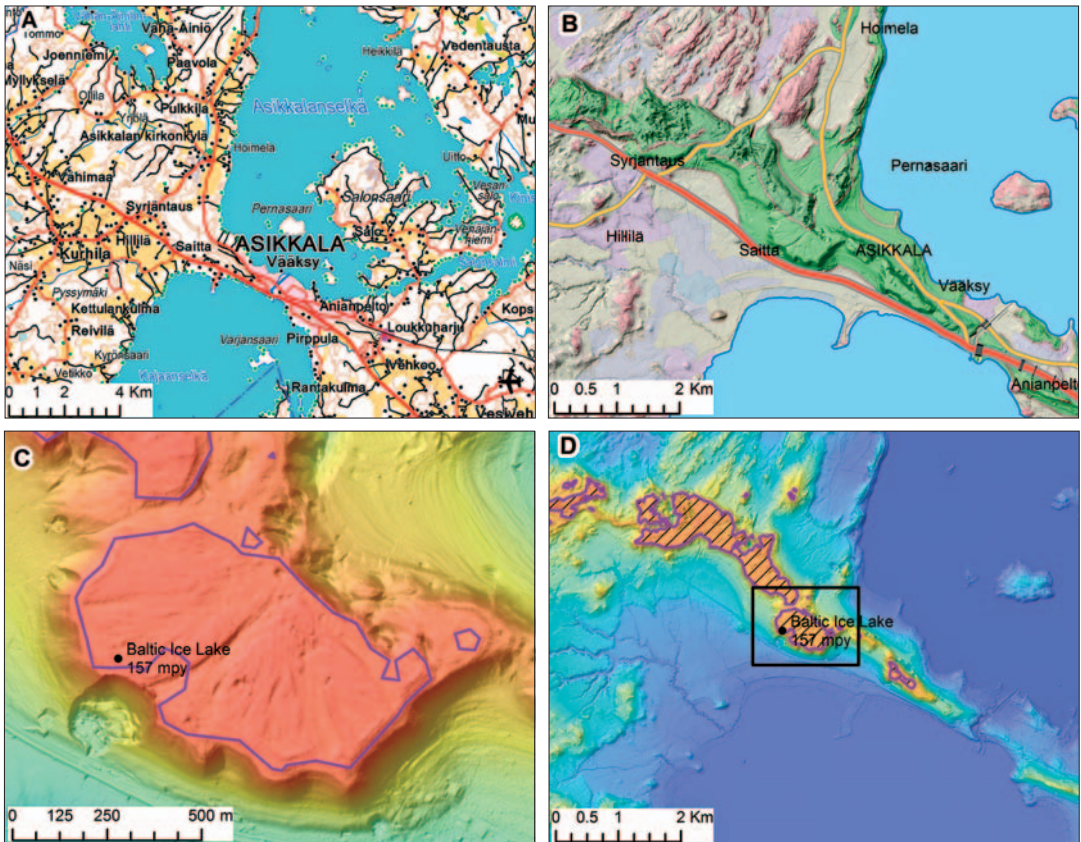
LiDAR-aineiston käyttö havaintojen tarkistamisessa

LiDAR on kaukokartoitustekniikka, jossa kohteen etäisyyttä mitataan laserkeilaimen lähettämien laserpulssien ja tarkan paikannuksen avulla (mm. Weitkamp 2005, Meng et al. 2010). Lasersäteen takaisinsironna tapahtuu mm. puiden latvoista, rakennuksista sekä maan pinnasta. Havaintojen perusteella saadaan tarkkaa ja pienipiirteistä tietoa paitsi alueen kasvillisuudesta ja rakennuksista myös maanpinnan muodoista. Laserkeilausaineistoista tuotetaan maanpinnan korkeutta kuvaavia malleja (DEM), joita voidaan hyödyntää mm. geologisissa ja geomorfologisissa tutkimuksissa (Oksanen ja Sarjakoski 2006, Meng et al. 2010). Tuotettuja korkeusmalleja on hyödynnetty esimerkiksi maaperämuodostumien kartoituksessa (mm. Nenonen et al. 2010, Fleeger et al. 2011, Dowling et al. 2013), sedimenttiyksiköiden tarkkuutta vaativissa havainnoinneissa (mm. Bellian et al. 2005) sekä maanvyörymien monitoroinnin yhteydessä (Schulz 2007, Haneberg et al. 2009).

Nyt tehdyssä työssä LiDAR-korkeusmallia käytettiin olemassa olevien muinaisranta-

havaintojen korkeuden tarkistamiseen sekä uusien havaintojen etsintään ja tallentamiseen. Tätä varten maan pintaa kuvaavalle LiDAR-korkeusmallille tehtiin MDOW-vinovarjovaistusta (Multidirectional Oblique-Weighted Hillshade), jotta rantavallien, rantatörmien ja monien muiden rantamuodostumien morfologiset piirteet tulisivat mahdollisimman selkeästi esille (kuva 1). Kuvan 1 esimerkikar-

tassa on sandur-delta Toiselta Salpausselältä Asikkalasta, josta on tarkistettu Ramsayn (1931) jo aikoinaan havainnoima Baltian jääjärven BIII-vaiheen rantahavaintopiste. Kuvassa 1C ilmenee hyvin sekä sandur-uomaston reuna että muodostuman distaaliosaan syntyneet ylimmän rannan tasoa kuvastavat rantavallit. On huomattavaa, että geologis-geomorfologisten muodostumien tunnistaminen on



Kuva 1. Baltian jääjärven BIII-vaiheen sandur-delta Asikkalan luoteispuolella kuvattuna peruskartalla (A), maaperän korkokuvana (B), sekä eri mittakaavaisissa väriluokitteluisissa LiDAR-korkeusmallissa (C ja D). Ylimmän rannan rajaus (violetti viiva) perustuu Åbergin (2013a) TIN-interpolointiin. Ramsayn (1931) rantahavainto 157 m m.p.y. on merkitty pisteellä (GTK, ASD-ID: 6085). Pohjakartat © Maanmittauslaitos.

Figure 1. A sandur delta formed during the BIII stage of the Baltic Ice Lake, near Asikkala. The panels show a topographic map (A), a DEM of Quaternary deposits (B), and LiDAR DEMs (C and D). The highest shoreline (violet line) is based on Åberg (2013a). The ancient shoreline observation by Ramsay (1931) at 157 m a.s.l. is indicated with a point (GTK, ASD-ID: 6085). Basemaps © the National Land Survey of Finland.

selvästi helpompaa väriluokitellusta LiDAR DEM kuvasta kuin maaperän vinovalaistusta korkeusmallista. Vastaavalla tavalla Åberg (2013a) ja Åberg (2013b) kävivät järjestelmällisesti läpi julkaistuja rantahavaintokohteita koko Suomen alueelta.

Laserkeilaukseen perustuvan korkeusmallin käyttämisen hyödyt olivat tässä työssä ilmeiset. Julkaistut havainnot oli suhteellisen nopea tarkistaa tarkoista LiDAR-korkeusmalleista, joiden resoluution (2 m) todettiin soveltuvan hyvin rantamuodostumien tutkimiseen. Muinaisia rantapinnan tasoja kuvaavien morfologisten piirteiden, kuten rantavallien ja deltapintojen, jatkuvuudet olivat hyvin havaittavissa LiDAR-DEM-aineistoista, mikä edesauttoi muodostumien keskimääräisten sekä maksimi- ja minimikorkeuksien määrittämisessä. Muodostumien jatkuvuuksien ja selväpiirteisyyden avulla kyettiin myös tekemään uusia havaintoja sekä olemassa olleiden havaintojen läheisyydestä että alueilta, joilta havaintoja oli rajallisesti tai ei lainkaan. Käyttämällä LiDAR-korkeusmalleja yhdessä GTK:n digitaalisten maaperäkartoitusaineistojen kanssa, voitiin uusien rantamuodostumien etsimistä kohdentaa alueille, joissa esiintyy esimerkiksi lajittuneita hiekka- ja soravaltaisia maalajeja, joihin muinaisrantoja on eri vaiheissa luonnollisimmin muodostunut. Aineiston keräämisen aikana havaittiin, että LiDAR-korkeusmalleilta tulkittavissa olevia pienempiä ranta- ja muinaisrantoja oli hyvin haasteellista havaita maastotarkastelun yhteydessä erityisesti kasvillisuuden peittämällä alueilla.

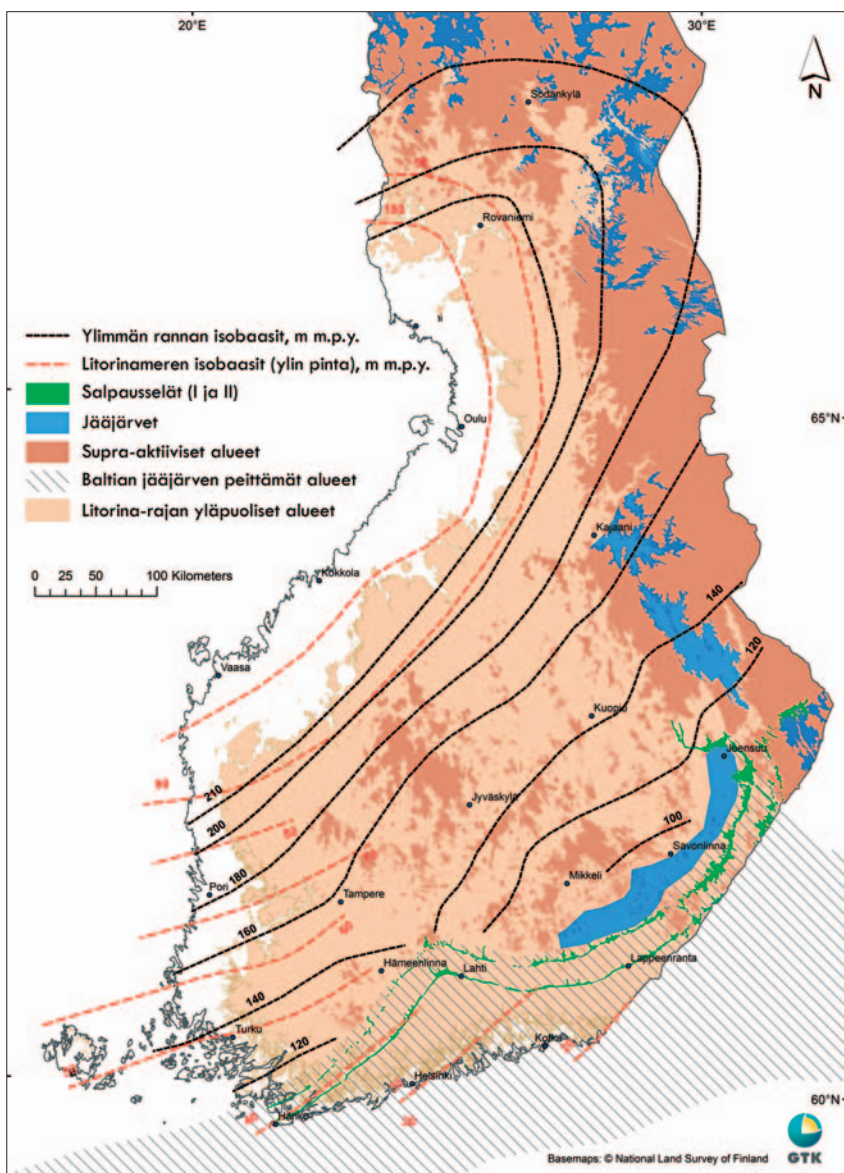
ASD-tietokannassa nyt olevista Litorinameren maksimilaajuuteen liittyvistä julkaisuista tai uusista muinaisrantahavainnoista 499 havainnon (73 %) korkeusmääritys perustuu LiDAR-korkeusmalleihin. Vastaava luku ylimpään rantaan liittyen on 352 (45 %). Näiden prosenttilukujen ero ja se, että kaikkia havaintoja ei ole tarkistettu LiDAR-korkeusmalleil-

ta, johtuu laserkeilausaineiston tämänhetkisestä kattavuudesta Suomen alueella. Maanmittauslaitoksen suunnitelman mukaisesti laserkeilausaineistot tulevat kattamaan koko Suomen vuoteen 2019 mennessä.

Interpoloidut pinnat ja niiden laskenta korkeusmallin kanssa

ASD-tietokantaan kerätyistä muinaisrantahavainnoista tuotettu teemakartta Suomen sub- ja supra-akvaattisista alueista sekä Litorinameren maksimilaajuudesta on esitetty kuvassa 2. Se perustuu Åbergin (2013a) ja Åbergin (2013b) opinnäytteissään tekemään pistemäisen havaintoaineiston luokitteluun, jossa ASD:hen tallennetuista pisteistä luotettavimmat valittiin kyseisten karttojen muodostamiseen. Valituista pisteistä interpoloitiin kummallekin Itämeren vaiheen levinneisyydelle niiden rantaa kuvaava pinta TIN-kolmioverkkomallin (Triangulated Irregular Network) avulla (mm. Burrough 1998, Oksanen 1998). Pinnat vähennettiin yksitellen rasteriksi muunnetusta Suomen kattavasta DEM 10 m ja DEM 25 m korkeusmalleista, minkä tuloksena saatiin rasterikartat muinaisrantojen ylä- ja alapuolisista näennäisistä vedensyvyyksistä. Kuvassa 2 rasterikartat on edelleen muutettu polygoneiksi sen mukaan sijaitsevatko ne ylempänä tai alempana kuin sen aikainen mallinnettu vedenpinta. Tuloksena syntyneet kartat vastaavat pääpiirteissään Erosen ja Hailan (1992) karttoja tärkeimmistä muinaisrannoista, mutta ovat resoluutioltaan huomattavasti tarkempia ja antavat siten uutta tietoa näiden Itämeren vaiheiden levinneisyydestä.

On huomioitava, että sekä ylin ranta että Litorinameren maksimilaajuus ovat kumpikin diakronisia muinaisrantoja, sillä niiden ranta- ja muinaisrantojen muodostumat ovat syntyneet eri aikoina eri puolilla Suomea. Karttojen rekonstruointiin käytettiin Litorinameren levinneisyyden osalta yhteensä 397 ja ylimmän rannan osalta 732



Kuva 2. Ylimmän rannan ja Litorinameri -vaiheen maksimilaajuuden rekonstruktio (DEM 10 m) ja niiden isobaasit perustuen Åberg (2013a) ja Åberg (2013b) aineiston luokitteluun ja TIN-interpolointiin. Kuvaan on merkitty myös tunnetuimmat ja isoimmat paikalliset jääjärvet: Ilomantsin jääjärvi (Vesajoki et al. 1986), Saimaa-Sääminki jääjärvi (Saarnisto 1970, Eronen ja Haila 1992, Hakulinen 2009), Pieli-sen jääjärvi (Miettinen 2002, Seppä et al. 2012), Sotkamon jääjärvi (Saarelainen ja Vanne 1997), sekä Pohjois-Suomen jääjärvet (Johansson 2005). Pohjakartta © Maanmittauslaitos.

Figure 2. The diachronous appearance and isobases (m a.s.l.) for the highest shoreline and the Litorina Sea maximum extent in Finland based on Åberg (2013a) and Åberg (2013b) TIN interpolations, respectively. Areas covered by the Ilomantsi Ice Lake (Vesajoki et al. 1986), the Saimaa-Sääminki Ice Lake (Saarnisto 1970, Eronen and Haila 1992, Hakulinen 2009), the Pieline Ice Lake (Miettinen 2002, Seppä et al. 2012), the Sotkamo Ice Lake (Saarelainen and Vanne 1997), and various ice-dammed lakes in Northern Finland (Johansson 2005) are shaded with blue. Basemap © the National Land Survey of Finland.

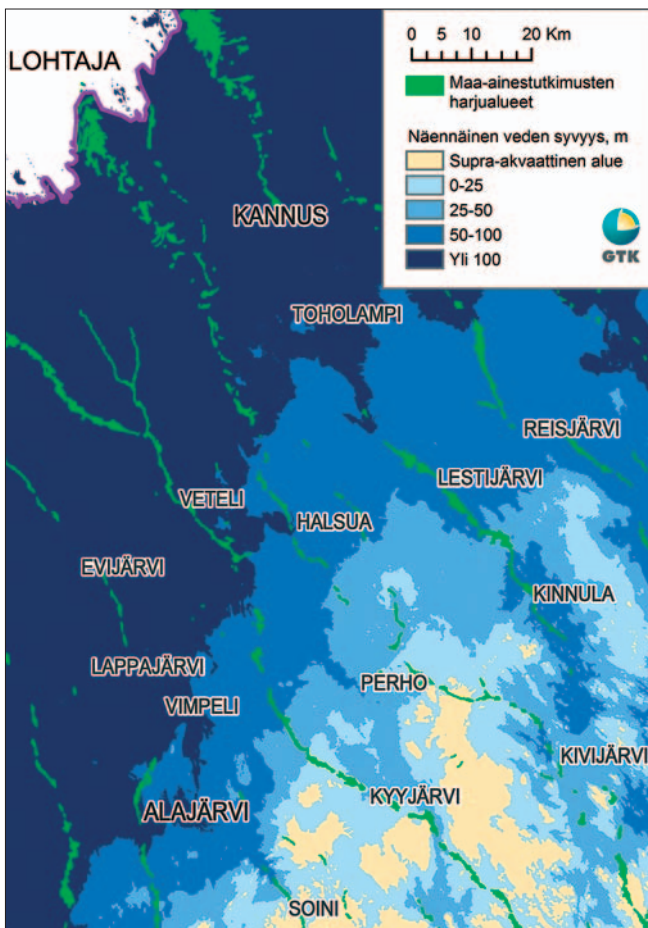
ASD-tietokantaan tallennettua havaintopistettä. Objektivisen tarkastelun lisäämiseksi TIN-kolmioverkkomallin laskentaan käytetyt pisteet merkittiin ASD-tietokantaan. Tämä edesauttaa TIN-mallien (ja karttojen) muokkaamista ja päivittämistä sen mukaan, miten tietokantaan kertyy lisäpisteitä tulevaisuudessa tai/ja, jos käyttäjä haluaa esimerkiksi alueellisesti valikoida joitakin tiettyjä pisteitä ja käyttää niitä tarkempien alueellisten rekonstruktioiden toteuttamisessa.

Sovelluksia

Työssä järjestelmällisesti kerätyillä rantahavaintopisteillä ja niistä tuotetuilla kartografisilla aineistoilla on useantyyppisiä sovellutuksia

maaperägeologisissa ja geomorfologisissa tulkinnoissa. Sovellutuksista on annettu kaksi esimerkkiä kuvissa 3 ja 4, joissa on huomattava, että tarkasteluissa ei ole otettu huomioon post-glasiaalista eroosiota ja aineksen kerrostumista.

Kuvassa 3 on esitetty GTK:n maa-ainestutkimusten harjualueet ja maankamaran näennäinen veden syvyys ylimmän rannan muodostumisen aikana. Ahokangas ja Mäkinen (2013) tekivät geomorfologisia ja sedimentologisia tutkimuksia Lohtajalta Halsuan ja Perhon kautta Kivijärvelle kulkevan harjujaksolla tarkastellen harjujakson kerrostumisympäristöjä. He osoittivat kuinka veden syvyys, vaihteleva sulamisvesien määrä, pohjan topo-



Kuva 3. Harjujaksojen esiintyminen ja näennäinen veden syvyys ylimmän rannan muodostumisen aikaan Pohjanmaan alueella. Pohjakartta © Maanmittauslaitos.

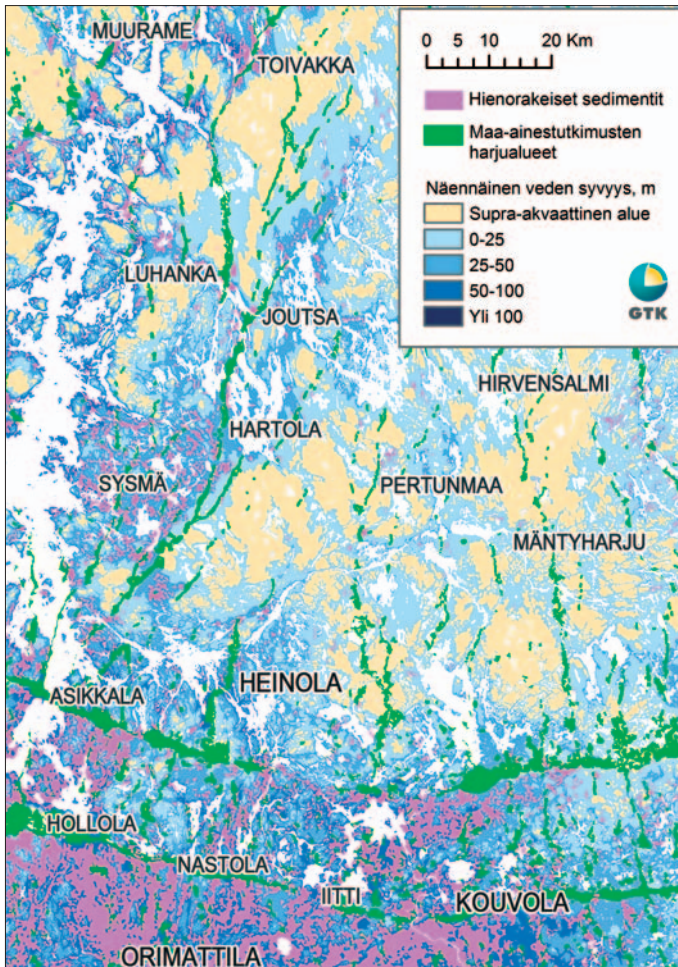
Figure 3. Distribution of glaciofluvial deposits and relative water depth at the time of the highest shoreline development in the Pohjanmaa region. Basemap © the National Land Survey of Finland.

grafia jäätikön reunan tuntumassa kerrostumisen aikaisessa ympäristössä ovat merkittäviä tekijöitä glasifluviaalisten kerrostumien sijoittumisen, rakenteen ja sedimentologisten ominaispiirteiden kannalta.

Supra-akvaattisella alueella tai lähellä sen rajaa Perhon-Kivijärven seudulla glasifluviaaliset muodostumat ovat tyypillisesti sandureita ja niiden syöttöharjuja. 25–50 metrin syvyydessä Halsuan alueella muodostui glasifluviaalisia viuhkoja (subaquatic fans) ja astetta syvemmän veden oloissa (50–100 m) leveisiin railoihin ja/tai jään reunassa oleviin jäätikkölahtiin “re-entrant” -tyyppisiä harjumuodostumia (re-entrant deposits). Syvimmän veden

(>100 m) olosuhteissa hallitsevana muodostumistyyppinä ovat voimakkaasti tasoittuneet leveät subakvaattiset harjut, joiden pohjaosissa on tunnelivaiheen harjuelementti ja pintaosien liepeitä hallitsevat hiekat, jotka ovat suurelta osalta rantavoimien uudelleen kerrostamia (Niemelä 1979, Ahokangas ja Mäkinen 2013). Harjuksojen erityyppisillä geologisilla ja geomorfologisilla ominaispiirteillä on huomattava vaikutus muodostumien kiviainesvarojen hyödyntämisen ja pohjaveden ilmene-
misen näkökulmasta.

Kuvassa 4 on esitetty GTK:n maastotietokannan hienorakeiset sedimentit (hiesut ja savet) ja maankamaran näennäinen veden sy-



Kuva 4. Hienorakeisten sedimenttien ilmeneminen suhteessa näennäiseen veden syvyyteen ylimmän rannan muodostuessa Kouvola-Heinola-Muurame alueella. Pohjakartta © Maanmittauslaitos.

Figure 4. Distribution of fine-grained deposits and relative water depth at the time of the highest shoreline development in the Kouvola-Heinola-Muurame region. Basemap © the National Land Survey of Finland.

vyys ylimmän rannan muodostumisen aikana Salpausselkä-vyöhykkeessä Kouvola-Heinola alueella ja sen pohjoispuolella. Tämänkaltaisesta tarkastelusta ilmenee, että hienosedimenttikerrostumia esiintyy erittäin vähän alueilla jotka ovat 0–25 m supra-akvaattisen rajan alapuolella, ja niitä alkaa esiintyä runsaammin vasta noin 30–40 m ylimmän rannan alapuolella olevilla alueilla. Kartasta on myös selvästi havaittavissa, että ylimmän rannan alapuolisten alueiden näennäinen korkeusmalli määrittelee hienorakeisten sedimenttien alueellisen ilmenemisen ja jakautumisen.

Esimerkiksi Pertunmaan-Mäntyharjun-Hirvensalmen alueella, jossa maakamaran nykyinen korkeus on pääosin 100–140 m m.p.y., edustaen supra-akvaattisia alueita tai ollen maksimissaan 25–30 m sen rajan alapuolella, hienorakeisia sedimenttejä ei juurikaan esiinny. Toisaalta taas Sysmän alue, joka on nykyisin korkeustasolla 80–100 m m.p.y., eli laajalti 30–50 metriä supra-akvaattisen rajan alapuolella, saven ja hiesun esiintyminen on hyvin yleistä ja ne täyttävätkin maa- ja kallioperän painanteita post-glasiaalisina kerrostuksina.

Suomen hienoaineskerrostumien osalta tiedetään myös, että happamia sulfaattimaita esiintyy erityisesti muinaisen Litorinameren ylimmän rannan alapuolisilla alueilla. Happamilla sulfaattimailloilla tarkoitetaan maaperässä luonnollisesti esiintyviä rikkipitoisia sedimenttejä – savia, liejuja, hiesuja ja hietoja – joista vapautuu hapettumisen seurauksena happamuutta ja metalleja maaperään ja vesistöihin (Österholm et al. 2012). Niiden levinneisyyttä kartoitettaessa voidaan hyödyntää ASD-tietokantaan kerättyä rantahavaintoaineistoa ja siitä tuotettuja Litorinameren maksimilaajuuteen liittyviä teemakarttoja (Åberg 2013b), ja siten rajata potentiaalisesti happamien sulfidimaiden ilmeneminen nykyisillä rannikko-seuduilla.

Aineiston saatavuus ja päivitys

Muinaisrantoihin liittyvä pistemäinen havaintoaineisto (ASD) ja niistä tuotetut paikkatietoaineistot, kuten Litorinameren maksimilevinneisyyttä sekä supra- ja subakvaattisten alueiden jakautumista Suomessa kuvaavat kartat, ovat ladattavissa joulukuussa 2013 avautuvasta GTK:n HAKKU-paikkatietopalvelusta (<http://hakku.gtk.fi>). ASD-tietokantaa on tarkoitus päivittää tietyin väliajoin sekä tarvittaessa esimerkiksi erilaisten projektien yhteydessä. Mikäli sinulla on aineistoa, joka puuttuu tietokannasta ja/tai olet halukas tallentamaan sinne aineistoa, ota yhteyttä kirjoittajiin (antti.ojala@gtk.fi tai jukka-pekka.palmu@gtk.fi). ASD-tietokantaa ei ole millään tapaa rajoitettu vain edellä mainittujen Itämeren vaiheiden muinaisrantahavaintojen tallentamiseen, vaan sitä on tarkoituksenmukaista hyödyntää myös muiden merivaiheiden, paikallisten jääjärvien sekä suurjärvien kehityshistorian tutkimiseen ja mallintamiseen. Esimerkiksi Suomen Ancylusjärvi-vaiheesta on suuri määrä tietokantaan tallentamattomia kuroutumis- ja rantapintahavaintoja. Sama koskee suurten järviemme, kuten Saimaa ja Pielinen, eri vaiheissa syntyneitä muinaisrantoja.

Kiitokset

Kiitämme seuraavia henkilöitä keskusteluista ja aineistoista: O. Breilin, A. Ikonen, P. Johansson, M. Larronmaa, J.-P. Mäkiäho, K. Mäkinen, J. Oksanen, N. Putkinen, O. Ristanieni, H. Rönty, J. Saarelainen, M. Saarnisto, J. Vanne, J. Vassiljev ja T. Väänänen.

Kirjallisuus

- Ahokangas, E. ja Mäkinen, J. 2013. Sedimentology of an ice lobe margin esker with implications for the deglacial dynamics of the Finnish Lake District lobe trunk. *Boreas*, DOI: 10.1111/bor.12023
- Andrén, E., Andrén, T. ja Sohlenius, G. 2000. The

- Holocene history of the southwestern Baltic Sea as reflected in a sediment core from the Bornholm Basin. *Boreas* 29:233–250.
- Bellian, J.A., Kerans, C. ja Jenette, D.C. 2005. Digital Outcrop Models: Applications of Terrestrial Scanning Lidar Technology in Stratigraphic Modeling. *Journal of Sedimentary Research* 75:166–176.
- Björck, S. 1995. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0–8.0 ka BP. *Quaternary International* 27:19–40.
- Burrough, P. ja McDonnell, R. 1998. Principles of Geographical Information Systems – Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford, Oxford University Press, 333 s.
- Dowling, T.P.F., Alexanderson, H. ja Möller, P. 2013. The new high-resolution LiDAR digital height model ('Ny Nationell Höjdmmodell') and its application to Swedish Quaternary geomorphology. *GFF*, DOI: abs/10.1080/11035897.2012.759269 #.UdVW4Njkn1U
- Eronen, M. ja Haila, H. 1992. The main ancient shorelines. Teoksessa: Alalammi, P. (toim.). Atlas of Finland, Folio 123–126: Geology. Helsinki, National Board of Survey & Geographical Society of Finland, 17.
- Eronen, M., Glückert, G., van de Plassche, O., van der Plicht, J. ja Rantala, P. 1995. Land uplift in the Olkiluoto-Pyhäjärvi area, southwestern Finland, during the last 8000 years. Nuclear waste commission of Finnish power companies, report YJT-95-17, 26 s.
- Fairbanks, R.G. 1989. A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature* 342:637–642.
- Fleeger, G.M., Grote, T., Straffin, E. ja Szabo, J.P. 2011. Quaternary geology of northwestern Pennsylvania. Teoksessa: Ruffolo, R.M. ja Ciampaglio, C.N. (toim.). From the Shield to the Sea: Geological Field Trips from the 2011 Joint Meeting of the GSA Northeastern and North-Central Sections. Geological Society of America, Field Guide 20, 87–109.
- Glückert, G. 1976. Post-Glacial Shore-Level Displacement of the Baltic in SW Finland. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Series A. III, Geologica – Geographica* 118:32–33.
- Hakulinen, M. 2009. Saimaan jääjärvet, sininen hetki – yli 10 000 vuotta sitten. Lappeenranta, Geomatti Oy, 92 s.
- Haneberg, W.C., Cole, W.F. ja Kasali, G. 2009. High-resolution LiDAR-based landslide hazard mapping and modeling, UCSF Parnassus Campus, San Francisco, USA. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 68:263–276.
- Johansson, P. 2005. Jääjärvet. Teoksessa: Johansson, P. ja Kujansuu, R. (toim.). Pohjois-Suomen maaperä. Espoo, Geologian tutkimuskeskus, 127–149.
- Kakkuri, J. 2012. Fennoscandian land uplift: Past, present and future. Teoksessa: Haapala, I. (toim.). From the Earth's core to outer space. Dordrecht, Springer, 127–136.
- Meng, X., Currit, N. ja Zhao, K. 2010. Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues. *Remote Sensing* 2:833–860.
- Miettinen, A. 2002. Relative Sea Level Changes in the Eastern Part of the Gulf of Finland during the last 8000 Years. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Geologica–Geographica* 162.
- Nononen, K., Vanne, J. ja Laaksonen, H. 2010. Laserkeilaus – uusi menetelmä geologisen kartoitukseen ja tutkimukseen. *Geologi* 62:62–69.
- Niemelä, J. (toim.) 1979. Suomen sora- ja hiekkaesiintymät 1:1 milj. = Gravel and sand deposits in Finland scale 1:1 million. Espoo, Geologinen tutkimuslaitos, Tutkimusraportti 42, 119 s.
- Ojala, A.E.K., Palmu, J.-P., Åberg, A., Åberg, S. ja Virkki, H. 2013. Development of an ancient shoreline database to reconstruct the Litorina Sea maximum extension and the highest shoreline of the Baltic Sea basin in Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 85:127–144
- Oksanen, J. 1998. Itämeren ylin ranta eteläisessä Suomessa. Pro gradu, Department of geography, University of Helsinki, 90 s.
- Oksanen, J. ja Sarjakoski, T. 2006. Uncovering the statistical and spatial characteristics of fine topographic DEM error. *International Journal of Geographical Information Science* 20:345–369.
- Palmu, J.-P. 2011. Collection, management and distribution of data on surficial deposits. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 49:345–348.
- Ramsay, W. 1924. On relations between crustal movements and variations of sea-level during the Late Quaternary time, especially in Fennoscandia. *Fennia* 44:1–39.
- Ramsay, W. 1931. Material zur Kenntnis der Spätglazialen Niveaushiftungen in Finnland. *Fennia* 54:1–145.
- Ristaniemi, O. 1987. Itämeren korkein ranta ja Ancy-lusraja sekä Muinais-Päijänne Keski-Suomessa. [The highest shore and Ancyclus limit of the Baltic Sea and the Ancient Lake Päijänne in Central Finland]. Publication of University of Turku. Series C 59, 102 s.
- Saarelainen, J. ja Vanne, J. 1997. Sotkamon jääjärvi. *Terra* 109:25–38.
- Saarnisto, M. 1970. The late Weichselian and Flandrian

History of the Saimaa Lake Complex. Societas Scientiarum Fennica, Commentationes Physico-Mathematicae 37:1–107.

- Saarnisto, M. 1981. Holocene emergence history and stratigraphy in the area north of the Gulf of Bothnia. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III, Geologica–Geographica* 130, 42 s.
- Schulz, W.H. 2007. Landslide susceptibility revealed by LIDAR imagery and historical records, Seattle, Washington. *Engineering Geology* 89:67–87.
- Seppä, H., Tikkanen, M. ja Mäkiäho, J.-P. 2012. Tilting of Lake Pielinen, eastern Finland – an example of extreme transgressions and regressions caused by differential post-glacial isostatic uplift. *Estonian Journal of Earth Science* 61:149–161.
- Tikkanen, M. ja Oksanen, J. 2002. Late Weichselian and Holocene shore displacement history of the Baltic Sea in Finland. *Fennia* 180:9–20.
- Vesajoki, H., Eronen, M. ja Zetterberg, P. 1986. Monivaiheinen Ilomantsin jääjärvi. *Geologi* 38:111–115.
- Weitkamp, C. (toim.) 2005. Lidar: Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere. Singapore, Springer, 455 s.
- Åberg, A. 2013a. Itämeren ylin ranta Suomessa. Pro gradu, Department of geosciences and geography, University of Helsinki, 84 s.
- Åberg, S. 2013b. Litorinameren ylin ranta Suomessa. Pro gradu, Department of geosciences and geography, University of Helsinki, 79 s.
- Österholm, P., Yli-Halla, M. ja Edén, P. (toim.), 2012. 7th International Acid Sulfate Soil Conference in Vaasa, Finland 2012, Towards Harmony between Land Use and the Environment. Proceedings volume, Espoo, Geological Survey of Finland, Guide 56, 171 s.

ANTTI E.K. OJALA ja
JUKKA-PEKKA PALMU
Geologian tutkimuskeskus
PL 96, 02151 Espoo
antti.ojala@gtk.fi
jukka-pekka.palmu@gtk.fi

SUSANNE ÅBERG ja
ANNIKA ÅBERG
Geotieteiden ja maantieteen laitos
PL 64, 00014 Helsingin yliopisto
susanne.berg@helsinki.fi
annika.berg@helsinki.fi

Summary:

Ancient shoreline database – examples of applications

■ We developed an ArcGIS geodatabase, the Ancient Shoreline Database (ASD), for the study and interpretation of ancient shorelines and shoreline displacement information. The ASD consists, at this initial stage of the project, of highest shoreline and Litorina Sea isolation and shoreline landform observations. This data was collected and classified into the ASD according to their site-specific metadata, site type and reliability of observation. The 1625 data points thus far stored in the ASD represent 686 observations on the Litorina Sea and 790 observations on the highest shoreline. The remaining data points (149) represent local ice lakes. The compiled ASD was used to reconstruct the highest shoreline of the Baltic Sea basin and the diachronous maximum extent of the Litorina Sea in Finland. The paper also introduces how modern LiDAR-based digital elevation models were utilized in validating the published observations and in interpreting new data points from areas lacking information. In the last section a few examples are given of the potential applications of the presently collected data, and the reconstructed ancient shorelines, as plotted with the relative depth and altitude around them at the time of shoreline development. The paper discusses how these are related to the formation of different types of eskers in western Finland and the appearance of fine-grained deposits north of the Second Salpausselkä in the Heinola area.