

Kuva 1. SAR-kuvat (vasemmalla) kohdistetaan toisiinsa ja interferogrammi (vaihe-ero) muodostetaan. Jos kuvauskanta ei ollut 0, muualta saatua taikka tässä muodostettua numeerista korkeusmallia hyödynnetään topografian vaikutusten eliminoimiseksi, jolloin saadaan differentiaalinen interferogrammi. Tämä puolestaan voidaan muuntaa korkeuden muutoskuvaksi (oikealla).

Miranda Saarentaus, Arto Vuorela,
Juha Hyyppä ja Kirsi Karila

Apua - maanpinta vajoaa!

Maanpinta liikkuu ja muuttuu jatkuvasti. Suomessa maanpinnan nousua ja laskua on seurattu jopa satoja vuosia. Muuttumista seurataan tyypillisesti mittauspisteittäin. Sen sijaan laajempia alueita kattavia tutkakuvia ei ole juuri käytetty maanpinnan muutosten mittaamiseen vaan lähinnä korkeusmallien muodostamiseen. Uusimmat menetelmät muodonmuutosten seurannassa ovat kuitenkin antaneet jopa yhden millimetrin tarkkuuden.

Perinteinen tutka ja interferometria

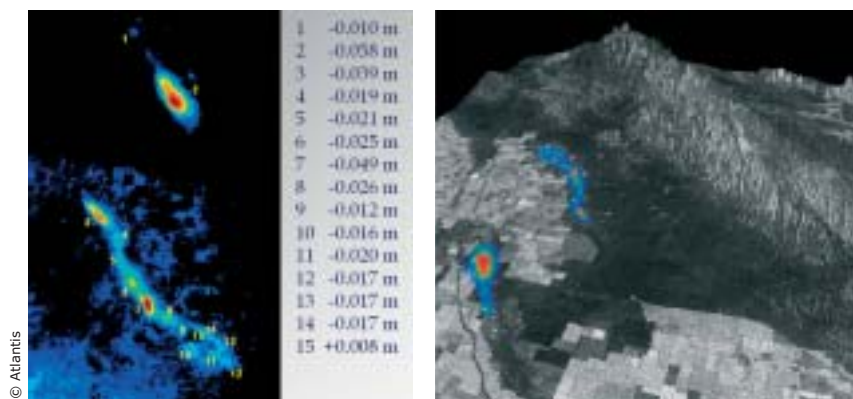
Tutka on aktiivinen kaukokartoituslaite, joka lähettää tarkasti määritellyn sähkömagneettisen signaalin ja vastaanottaa kohteesta aiheutuvaa takaisinsirontaa. Vastaanotetusta signaalista saatetaan huomioida eri polaarisuuksia sekä ottaa talteen voimakkuuden lisäksi vaihetieto. Tutkakuvan geometria ja tietosisältö eroavat siis passiivisista optisen alueen satelliitti- ja ilmakuvista.

Tutkakaukokartoitussatelliiteissa on tyypillisesti C-kaistan instrumentti, eli se tuottaa signaaleja 5,6 cm:n aallonpituudella. Tutka-antennien erotuskykyä on parannettu laskennallisesti (*Synthetic Aperture Radar*, SAR). RADARSAT-satelliitilla päästään tarkimpaan pikselikokoon, n. 8 metriin, kun taas ERS:n ja ENVISATin resoluutiot ovat n. 30 metriä.

Perinteisessä interferometriassa (InSAR) kaksi lähes samasta paikasta otettua tutkakuvaa kohdistetaan toisiinsa osapikselitarkkuudella ja kohteen topografia ratkaistaan muutaman metrin tarkkuudella signaalin vaihe-eroista eli interferogrammista. Kun huomioidaan kaikki mahdollisuudet, kuvauksia voitaisiin tehdä jopa muutaman päivän välein. Kuitenkin on olemassa kuvien valintaan vaikuttavia ehtoja kuten kuvauskannat ja kohteen kosteuserot.

Differentiaali-interferometria

Tutkasatelliittikuvat soveltuvat myös differentiaali-interferometriaan (dInSAR), jossa perinteisesti tutkitaan maanpinnan liikkeitä ja tarkkuudet ovat senttimetri- luokkaa. Tavallisesti tarvitaan 2–4 tutkakuvaa (riippuen kuvausgeometriasta ja



Kuva 2. Belridgen öljykentän maanvajoaminen dInSAR-menetelmällä tulkittuna, kalibroituina ja esitettynä perspektiivikuvana maastomallin ja tutkakuvan päällä. Keskellä näkyy pisteittäisiä muutosarvoja ajanjaksolle 17.9.1992–26.11.1992.

olemassa olevista korkeusmallitiedoista), ja useampi kuin yksi interferogrammi muodostetaan (kuva 1).

Jos kuvauskanta on nolla, topografia ei aiheuta interferometrisia kuvioita, vaan ne kaikki johtuvat joko kohteen muutoksista tai ilmakehän paikallisista eroista. Kuvauskannan ja topografian aiheuttamat vaihe-erot pyritäänkin eliminoimaan tavalla tai toisella, jolloin lopputulos kertoo kohteen muodon vaihteluista kahden periaatteessa samasta suunnasta otetun kuvauksen välillä.

Ilmakehän kosteuserot ja tuulirintamat aiheuttavat vaihetietoon virheitä, koska signaalin nopeus ei ole aivan vakio vaan tiheimmillä alueilla aiheutuu viiveitä, mutta usean kuvan käytöllä niitäkin pystytään tunnistamaan ja eliminoimaan.

Pysyvillä sirottajilla päästään vajoamisen seurantaan

Tarkan mallintamisen tarve korostuu, kun muodonmuutokset ovat hitaita ja vaaditaan pitkiä ajanjaksoja, jotta muutos voidaan tunnistaa. Aikavälin kasvaessa myös itse interferometria ilmiönä heikentyy, sillä se on erittäin herkkä pinnan muutoksille esimerkiksi kasvillisuudessa tai kosteudessa. Siksi luonnossa olevat pysyvät, kiinteät ja terävät kohteet kuten kallioiden ja rakennusten kolot ovat sirottajina erittäin tärkeitä. Niiden vaihe-eroja pystytään tarkkailemaan jopa vuodesta toiseen, ja pitkäaikaiset muodonmuutokset saadaan ainoastaan näissä kohteissa selville. Muissa pisteissä ns. interferometrinen koherenssi häviää tyypillisesti muutamassa päivässä tai viikossa.

Pysyvät sirottajat (*Permanent Scatterers*, PS tai *Coherent Target Monitoring*, CTM) tunnistetaan siis ottamalla monta tutkakuvaa samasta kohteesta pitkän ajan kuluessa lähes samalla kuvausgeometrialla ja kasaamalla kuvia ja interferogrammeja samaan nippuun. Ilmakehän epätasaisuudet voidaan samalla mallintaa ja poistaa, ja pysyville sirottajille saavutetaan jopa millimetrin luokkaa oleva pitkäaikaisten muodonmuutosten mitaustarkkuus. Absoluuttista korkeuden muutosta (tasainen maannousu) ei voida tunnistaa, ainoastaan suhteellisia eroja, mutta laajalla tutkakuvan alueella maasto käyttäytyy tyypillisesti yllätyksittä, ja osan alueen tästä poikkeava käyttäytyminen kiinnostaa.

On mahdollista ottaa halutusta alueesta noin kerran kuussa tutkakuva ja tehdä jatkuvaa analyysiä maanpinnan vajoamisesta, joka on tyypillinen ilmiö ja uhka öljykentillä (kuva 2), kaivosalueilla sekä alueilla, joista otetaan pohjavettä.

Maanvajoamisen seuranta voidaan katsoa operatiiviseksi mutta edelleen kehitettäväksi sovellukseksi. Menetelmät soveltuvat myös rakennettujen alueiden tai kohteiden vajoamiseen ja maanjäristysten ym. aiheuttamiin muodonmuutoksiin.

APPLISARIN

Maa ja Vesi Oy ja Teknillinen korkeakoulu (TKK) ovat Geodeettisen laitoksen (GL) johdolla mukana Suomi-Kanada-yhteistyöhankkeessa nimeltään APPLISARIN, jossa kehitetään eurooppalaisten ja kanadalaisten tutkasatelliittien avulla menetelmiä maankuoren liikkeiden määrittämiseksi. Projekti tehdään yhteistyössä *Atlantis Scientificin*, nykyään *Vexcel Canada Inc.*, kanssa. Tavoitteena on lisätä kaukokartoituksen osuutta ympäristöseurannassa teollisuuden eri osa-alueilla.

Teknologian tavoite on differentiaali-interferometrian/PS-tekniikan soveltaminen maankuorenliikkeisiin. Projektin aikana demonstroidaan differentiaali-SAR-interferometrian sovelluksia maankuoren liikkeiden mittaamiseksi, etsitään potentiaalisia sovelluksia kuten mm. rakennetun ympäristön vajoamista. Ensimmäiset painumatulokset PS-menetelmällä on jo saatu Turun kaupungista.

Turku

Turussa rakennusten painuminen on suuri ongelma. Keskusta on rakennettu osittain kymmenien metrien paksuisen savikerroksen päälle, ja pohjaveden pinnan laskiessa vanhat puupaalut lahoavat, ja rakennukset painuvat syvemmälle saveen. Tähän asti rakennusten liikkeitä on seurattu vaaitsemalla yksittäisiä rakennuksia. Turku on ensimmäinen kaupunki, jolle projektissa sovellettiin SAR-kuvien pysyviin sirottajiin perustuvaa CTM-menetelmää. CTM-analyyysissä käytettiin 35:tä SAR-kuvaa. Tulokset on yhdistelty painumakartaksi (kuvat 3 ja 4). Näin kattavaa kuvaa painumisesta ei ole aiemmin ollut saatavilla.

Turun kaupungin kiinteistövirastolta on saatu referenssiaineistoja projektiin GL:lle ja TKK:lle. Lisäksi GL on suoritta-



Kuva 3. Pysyviä sirottajia Turun keskustassa ja niiden liikenopeudet vertikaalisuunnassa.



Kuva 4. PS-nopeuksista interpoloitu painumakartta. Kuvassa siniset alueet painuvat, keltaiset pysyvät paikallaan. Punaisella on merkitty GL:n toteutettu tarkkavaaitusreitti.

nut omia tarkkavaaituksia Turussa. Kaikki mitatut vaaituspisteet ovat kalliopisteitä tai rakennusten sokkeleissa olevia korkopultteja/tappeja. Kalliopisteiden oletetaan muuttuvan tasaisesti samaan tahtiin. Testialue on myös pieni, joten suuria eroja kalliopisteiden välillä ei oletettavasti ole. Vaaitustulokset ja SAR-kuvilta mitatut vajoamisnopeudet ovat sopineet hyvin yhteen.

Turun alueen painumakartta on ensimmäinen näyte siitä, kuinka SAR-kuviin perustuvalla tekniikalla on voitu todeta maan vajoamista Suomessa. Vaikka rakennusten painumisnopeus on vain muutamia millimetrejä vuodessa, liike

pystytään havaitsemaan ja mittaamaan satelliittikuvilta.

Rajoitukset

Noin 10 vuotta sitten satelliittikaukokartoitusmenetelmien käytön suurimmiksi yhteisiksi esteiksi koettiin kuvien riittämättömän tarkkuus, kuvien saatavuus ja kuvien hinta. Kaupunkialueilla, joissa pysyviä sirottajia on runsaasti, PS-menetelmä on varsin tarkka (~1 mm). ERS-1/2-aikasarjat kattavat suurimmat osat maapallosta ja niiden avulla voidaan maankuoren liikkeitä tutkia 90-luvun alusta alkaen. Sen sijaan tällä hetkellä tapahtuvia vajoamia varten tarvitaan esimerkiksi Envisat-satelliitin kuvia, joiden osalta saattaa olla vaikeuksia saada riittävän monta kuvaa kohteesta. Kuvien määrän optimointi onkin palvelun tarjoamisen tärkein haaste, sillä se vaikuttaa suoraan myös hankittavan aineiston hintaan.

Menetelmän tarkkuuteen vaikuttavat myös olosuhteet. Metsäalueilla ei esiinny tarpeeksi runsasta määrää sirottajia ja interferometriakin heikkenee ajan kuluessa, jotta maankuoren liikkeiden määrittäminen olisi luotettavaa. Muut virheitä aiheuttavat tekijät ovat lähinnä olosuhteiden muutoksia, kuten ilmakehän muutokset, lumi, loska ja kosteusmuutokset. Menetelmän käyttö edellyttää, että kohteessa ja väliaineessa (ilmakehä) ei ole tapahtunut sanottavia muutoksia kuvanottojen välillä pysyvien sirottajien osalta. Tämän vuoksi kaupunkialueet, kalliokolot ja vähän kasvillisuutta käsittävä kovan maan alueet ovat parhaita interferometri-an soveltamisalueita.

Mahdollisuudet

Parhaiten PS-tekniikkaa pystytään hyödyntämään rakennettujen alueiden liikkeiden seurannassa. Selkein sovelluskohde maanpinnan liikkeissä on rakennusten vajoaminen. Tähän mennessä projektissa on tehty vajoamiskartta kahdesta Suomen kaupungista. Myös Euroopan avaruusjärjestön *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES) -ohjelmassa on yhtenä palvelukomponenttina riskitiedon antaminen maanpinnan liikkeistä. Ohjelmassa on vastaavalla PS-tekniikalla prosessoitu muutamia Euroopan kaupunkoja. **Maa ja Vesi** on tehnyt sopimuksen

palvelun päätarjoajan, **Terraфирman**, kanssa ja seuraavaksi on tarkoitus tuottaa vajoamiskartta Vaasan kaupungista. Vaasan kohdalla kyse on lähinnä maannoususta. Pysyvillä sirottajilla voidaan tutkia sekä maan painumaa että nousua. Tekniikan lisähyöty perinteisiin mittauksiin nähden on paikallisten maannousun poikkeamien löytäminen.

Eräs mahdollinen sovellusalue on ydinjätteiden säilytysalueiden maankuoriliikkeiden (kallioliikkeiden) seuranta. Ydinjätteiden säilytyspaikassa on tärkeätä, että kallioperä pysyy muuttumattomana. Silloin SAR-interferometria voisi tuottaa tietoa, liikkuuko maanpinta vai ei.

Samaa menetelmää, jolla seurataan öljykenttien maanpinnan liikkeitä, voidaan soveltaa esimerkiksi maanpinnan vajoamisen mittaamiseen pohjavesien pumppauksessa ja kaivostoiminnassa.

Miranda Saarentaus toimii Jaakko Pöry Infra / Maa ja Vedessä kaukokartoitusryhmän vetäjänä ja vastaa kaukokartoitusliiketoiminnan hyödyntämisestä paikkatiedossa. Sähköposti miranda.saarentaus@pory.fi.

Arto Vuorela toimii kaukokartoitusasiantuntijana Jaakko Pöry Infra / Maa ja Vesi Oy:ssä. Hän on ollut mukana kehittämässä InSAR-ohjelmistoa, jolla tuotetaan korkeusmalleja ja osallistunut tuotantoprojekteihin. Sähköposti arto.vuorela@pory.fi.

Juha Hyypä toimii osastonjohtajana ja professorina Geodeettisen laitoksen kaukokartoituksen ja fotogrammetrian osastolla. Sähköposti juha.hyypa@fgi.fi.

Kirsi Karila toimii tutkijana Teknillisen korkeakoulun Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratoriossa sekä Geodeettisella laitoksella. Sähköposti kirsi.karila@fgi.fi.

Valtakunnallisen kiinteistörekisterin käyttöönotto on aiheuttanut monia muutoksia kunnissa. Työtehtäviin on tullut muutoksia ja työmäärä on kasvanut. Mutta onneksi muutos on koettu oikean suuntaisena.

Valtakunnallinen kiinteistötietojärjestelmä otettiin käyttöön 1.6.2005. Kunnissa tehtiin paljon työtä edeltävinä vuosina onnistuneen laatuksen varmistamiseksi – korjattiin sekä kiinteistöjen ominaisuus- että sijaintitietoja. Tavoitteena oli parantaa kiinteistöjen ominaisuus- ja sijaintitietojen laatua ja luotettavuutta. Kunnat ovat tehneet tiivistä yhteistyötä alueensa maanmittaus- toimistojen kanssa.

Kiinteistötietojen monipuolinen käyttö kunnissa

Kiinteistötiedot ovat kunnassa monen muun toiminnon pohjana. Tämän takia kattava, virheetön kiinteistötieto koko kunnan alueelta tulee olla kunnan omassa järjestelmässä. Rakennuslupien käsittelyssä hyödynnetään ajantasaisia kiinteistötietoja. Kiinteistötoimitusten myötä rakennustunnuksiin tulee muutoksia. Rakennustunnusten on oltava kunnossa, jotta asukkaat sijoittuvat oikeisiin rakennuksiin. Kun perustiedot ovat kunnossa, aineistoa voidaan käyttää mitä erilaisimpiin tarkoituksiin. Monen tiedon analysointi perustuu kiinteistöjaotukseen. Tarpeita löytyy kunnan useilta sektoreilta. Halutaan selvittää esimerkiksi pohjavesialueella sijaitsevat kiinteistöt ja niillä sijaitsevissa rakennuksissa asuvien henkilöiden lukumäärä tai kunnan/suuren maanomistajan omistamat maa-alueet koko kunnan alueella ja tulostaa maanomistuskartta tai suunnitella omalääkerialueet.

”Kunnan kiinteistörekisterin parannuksella on saatu virheettömämpi rekisteri.”

SANASTOA Tutkakuvat, interferometria, pysyvät sirottajat

- **SAR** Synthetic Aperture Radar
- **dInSAR** differentiaali-interferometria, Differential SAR Interferometry
- **PS** Permanent Scatterers, pysyvät sirottajat
- **CTM** Coherent Target Monitoring