

Suomen moreenimuodostumat ja sekundaarinen deformaatio

MATTI SEPPÄLÄ

Uusi tarkka korkeusmalli kuvaa Suomen maaston pinnanmuotoja vähintään 30 sentin tarkkuudella (Maanmittauslaitos, nähtävänä myös GTK:n Maankamara-verkopalvelussa). Tämä korkeusmalli ja sen vinovarjostetut visualisaatiot tarjoavat uusia, mielenkiintoisia mahdollisuuksia Suomen moreenimuodostumien syntyprosessien arviointiin. Muodostumien tarkastelussa näyttää nousevan esille ainakin kolme yleistä moreenien muodostumisprosessia: glasiodynaaminen, deformaatio ja disintegraatio. Näiden lisäksi moreenimuodostumia syntyy jäätikön reunamiljöössä useissa eri prosesseissa.

Tyypillisiä subglasiaalisia aktiivisen jään lineaarisia pohjamuotoja ovat drumliinit. Myös poikkittaiset ribbed-moreenit ovat syntyneet pääosin aktiivisesti liikkuvan jään alla. Supraglasiaalisia muotoja edustaa hyvin ns. kuolleen jään kumpu-moreeni ja reunamuotoja reunamoreeni, Suomessa yleisimmin De Geer -moreeni. Stagnantin jään alla voi syntyä myös jään painamia tai pusertamia moreenimuodostumia (vrt. Aario 1977, Mäkinen *et al.* 2007, Bennett ja Glasser 2009).

Korkeusmallista näkyy ilmakuvia tai maastokarttoja tarkemmin moreenimuodostumien yksityiskohtia, suhteita toisiinsa ja muodostumatyyppien yllättäviä esiintymisalueita. Supra-akvaattisilla tai matalan veden alueilla on pieniä matalapiirteisiä fluting-kenttiä, jotka suuntautuvat kohti voimakkaan glasifluviaalisen eroosion aikaansaamia rotkolaaksoja. Odottamattoman laajalti tavataan kuolleen jään alueilla syntynyttä Pulju-moreenin tyyppistä morfologiaa, minkä on aiemmin ajateltu rajoittuvan Lappiin. De Geer -moreeneja on muo-

dostunut vastaavasti esimerkiksi Länsi-Lapissa ja Seinäjoen kaakkoispuolella, rannikkoalueiden ja suurten reunamuodostumalinjojen lisäksi. Ribbed-moreenia ja glasiotektonisia maastonpiirteitä esiintyy niinkin etelässä kuin Satakunnassa pohjoisten tyyppialueiden ohella. Pohjois-Pohjanmaan eteläosissa yksi sekundaarisen deformaation erikoismuoto on hienoainesmoreeniin laajasti piirtyneet jäävuorten jäljet.

Sekundaarinen deformaatio vaikuttaa huomattavimmalta korkeusmalleista havaittavalta Suomen oloissa “uudelta” moreenimorfologiaa muodostavalta prosessilta. Glasiotektonisen deformaation voidaan määritellä tarkoittavan liikkuvan jäätikön alustansa (kerrostuma tai kallio) kohdistamaa deformaatiota. Toisaalta myös jäätikön painon aiheuttama kuormitus on osa glasiotektoniikkaa. Edelleen yleensä glasiotektoniikalla viitataan erityisesti rakenteelliseen deformaatioon (Aber *et al.* 1989).

Glasiotektonisiin piirteisiin voidaan lukea 1) jäätikön painon ja liikkeen kallioperään aiheuttamat siirrokset yms., 2) muodostuman sisäiset hautautuneet piirteet kuten poimut, siirrokset, diapiriirit, breksiat ja muut deformaatorakenteet, joilla ei ole suoraa vaikutusta pinnan morfologiaan, 3) jäätikön siirtämät moreeniblokit ja 4) siirretyistä moreeniblokeista jäljelle jääneet painaumat (Aber *et al.* 1993, Aber ja Ber 2007).

Useiden glasiotektoniikan tutkijoiden mukaan sulamisveden jäätyminen ja louhinta (plucking) eivät kuitenkaan ole glasiotektoniikkaan kuuluvia prosesseja (Aber ja Ber 2007). Glasiotektoniikka ilmenee perusmuodossaan jäätikön painon ja liikkeen aiheuttamien voimien mekaanisena vaikutuksena kerroksiin. Siksi tässä kirjoituksessa kuvatta-

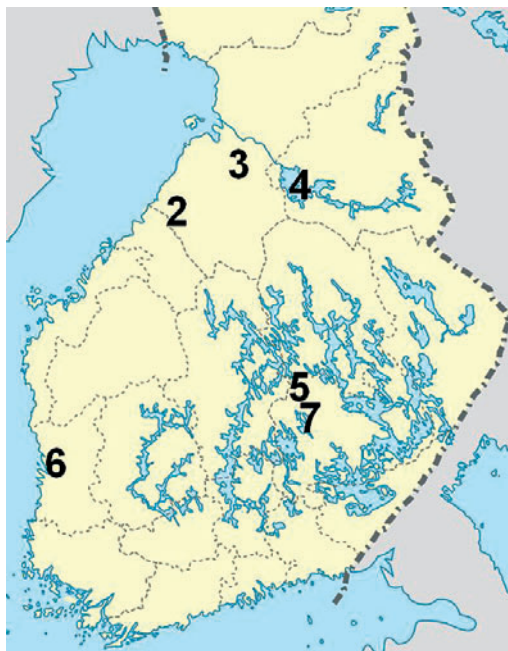
van ilmiön nimityksenä voidaan käyttää myös glasiaalista sekundaarista deformaatiota, mihin liittyy aikaisemmin kerrostuneiden moreeniblokkien irrotusta, kuljetusta ja kerrostumista.

Uudessa, tarkassa korkeusmallissa näkyy joilakin moreenialueilla (kuva 1) monia todennäköisesti sekundaarisen deformaation aikaansaamia pinnanmuotoja, joita on aikaisemmin vain vähän kuvattu kirjallisuudessa. Glasiotektonisia pinnanmuotoja on tutkittu lähempää jäätiköityneiden alueiden terminaaliosia, missä ne esiintyvätkin erilaisina suurmuotoina, jotka eroavat muodoista, joita havaitaan peruskallioalueilla jäätiköitymisten keski-osissa.

Pääasiallinen prosessikulku näiden muodostumien syntyemisessä on ollut louhinta, kuljetus ja pysähtyminen. Luultavasti siirtynyt moreeniblokki on ollut prosessin keskeisen ajan jäätyneenä. Käytän tässä yhteydessä termiä louhinta koskemaan siis myös ilmeisesti jäätyneen moreeniblokin irrotusta (haurasmurtuma) ja joutumista jäätikön kuljettamaksi. Alustan kappaleiden joutuminen mukaan jäätikkökuljetukseen saattaa olla myös puhtaasti glasiotektonista tai geoteknistä ja sitkeään murtumiseen liittyvää. Ilmiötä voidaan kuvata myös jäätikön painesulamispisteen mahdollisena vaeltamisena ylös-alas jäätikön ja alustan kontaktin molemmiin puolin ja sen vaikutuksena alustan osien irrotukseen, sieppaukseen ja kuljetukseen. Tähän toimintaan voi ottaa osaa myös monia muita prosesseja kuten erilaisten vesi-jää-debris -seosten pursuamista jäätikön railoihin tai alustan rakoihin.

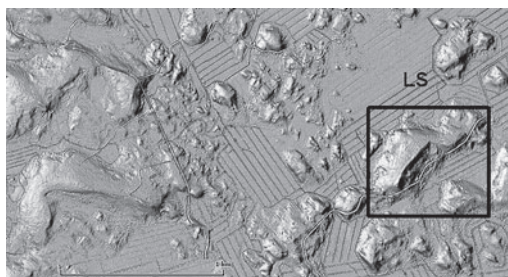
Louhittu suojasivu

Tämä on yleinen ilmiö vaikkapa moreenimäkien ja juomomoreenien (ribbed, Rogen) suojasivuilla (kuva 2). Dimensiot vaihtelevat huomattavasti. Poistettu lohko voi olla usein 1–5 m syvä, mutta jopa 10 metrin syvyys voi olla mahdollista. Ylä- tai alarajana poistetun osan mitoille on joskus jopa alkuperäisen muodostuman koko. Sitä, minne irrotetut moreeniblokit ovat kulkeutuneet, ei voi yleensä sanoa varmasti. Joidenkin poikittaisten tai



Kuva 1. Kuvissa 2–7 esitettyjen kohteiden sijainnit.

Figure 1. Locations of the sites shown in Figures 2–7.



Kuva 2. Deformaatiosyntyisiä pintamuotoja ribbed-moreenimaastossa. Yksi louhittu suojasivu merkitty (LS). Susineva, Kalajoki (karttalehti Q4231A, © Maanmittauslaitos avoin aineisto 02/2015 ja © GTK: Maankamara-palvelu).

Figure 2. Deformational surface features and ribbed moraines. One plucked lee side is marked (LS). Susineva, Kalajoki (Map sheet Q4231A, © National Land Survey open data 02/2015 and © The Geological Survey of Finland: Maankamara service).

reunamoreenivallien distaalisivut saattavat olla näin syntyneitä. Synty tapa lieene analoginen Roche moutonnée -kalliomuotojen synnyllä sillä erotuksella, että prosessi kohdistuu moreeniin eikä kalliioon. Painesulaminen aiheuttaa vastasivulla veden kehittymistä, sen virtausta suojapuolen paineminiimiin ja jäätymistä ja louhintaa siellä. Kleman ja Borgström (1994, vrt. Hooke 2011) käyttävät hie-man vastaavasta muodosta nimitystä “lee-side scarp”, joka on syntynyt jäänjakajaseudulla jäätikön alustan isolla kohoumalla sijainneen “jäätyneen laikun” distaalipuolelle jään lähtiessä siinä kohtaa liikkeelle.

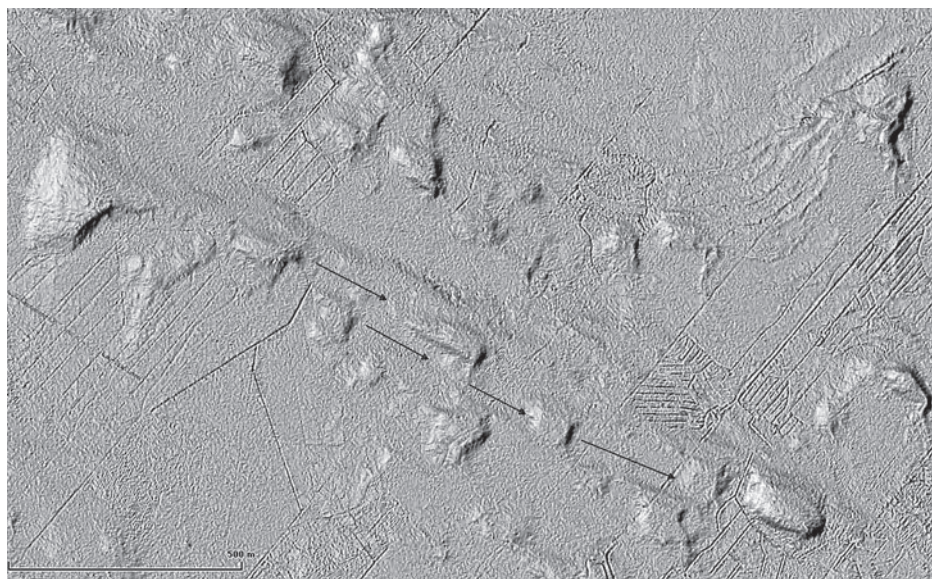
Painanne ja harjanne (hill-hole pair)

Joskus harvoin on yhdistettävissä sekä lähtöpaikka että pysähtymispaikka vastaavine muotoineen (kuva 3). Ribbed-moreenien alueilla sellainen joh-topäätös on usein lähellä (vrt. Hättstrand ja Kleman 1999, Sarala 2006), mutta toisaalta ribbed-

moreenit voivat kerrostua myös eri tavalla (esim. Aario 1977, Dunlop ja Clark 2006, Lindén *et al.* 2008). Muuten tämä jäätiköitymisten terminaali-alueilla yleinen glasiotektoninen muoto (Aber *et al.* 1989) lieene harvinainen Suomessa. Kuvassa 3 näkyvät muodot ovat noin 1–3 m korkeita.

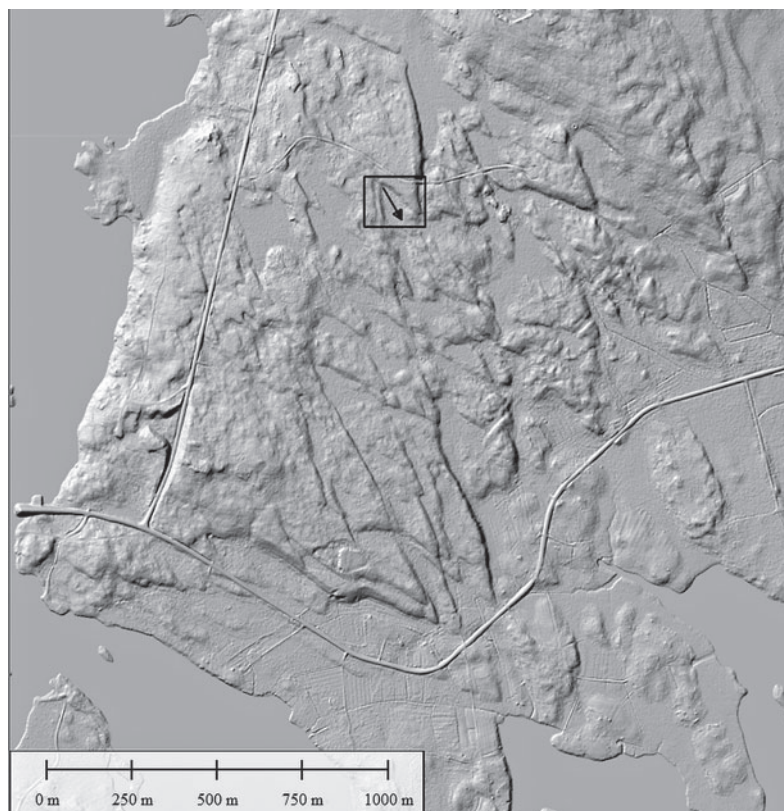
Viuhkamurros ja poikittaiset murrokset

Manamansalon koillispuolella Kaivannossa esiintyy eräs tunnusomainen sieppausmuoto, jota voisi sanoa vaikkapa viuhkamurrokseksi (kuva 4). Siinä on terävähäkö pistemäinen proksimaalipää, josta murroksen reunat aukeavat distaalisuuntaan. Ilmeisesti hauraan murrostyyppin aukeamiskulma on siellä noin 35 astetta ja viuhkojen suunta vaihtelee jonkin verran: 120–150 astetta, mikä osoittaa pohjoisempaa suuntausta kuin vallitseva maastonsuunta Oulujärven ympäristössä. Aukeamiskulma voi olla paljon leveämpikin, kuten 90 astetta tai enemmänkin, mutta noin 40 astetta saattaa olla yleinen



Kuva 3. Mahdollisia hill-hole-pareja. Tai oikeammin kyseessä voisi olla moreeniblokin subglasiaalinen pilkkoutuminen, siirtyminen ja raahausjälki. Linnakangas, Tyrnävä (karttalehti R4323F, © Maanmittauslaitos avoin aineisto 03/2016).

Figure 3. Hill-hole pairs in Tyrnävä (Map sheet R4323F, © National Land Survey).



Kuva 4. Viuhkamurroksia Manamansalon lähellä Kaivannossa (karttalehti Q5222D, © Maanmittauslaitos avoin aineisto 03/2016).

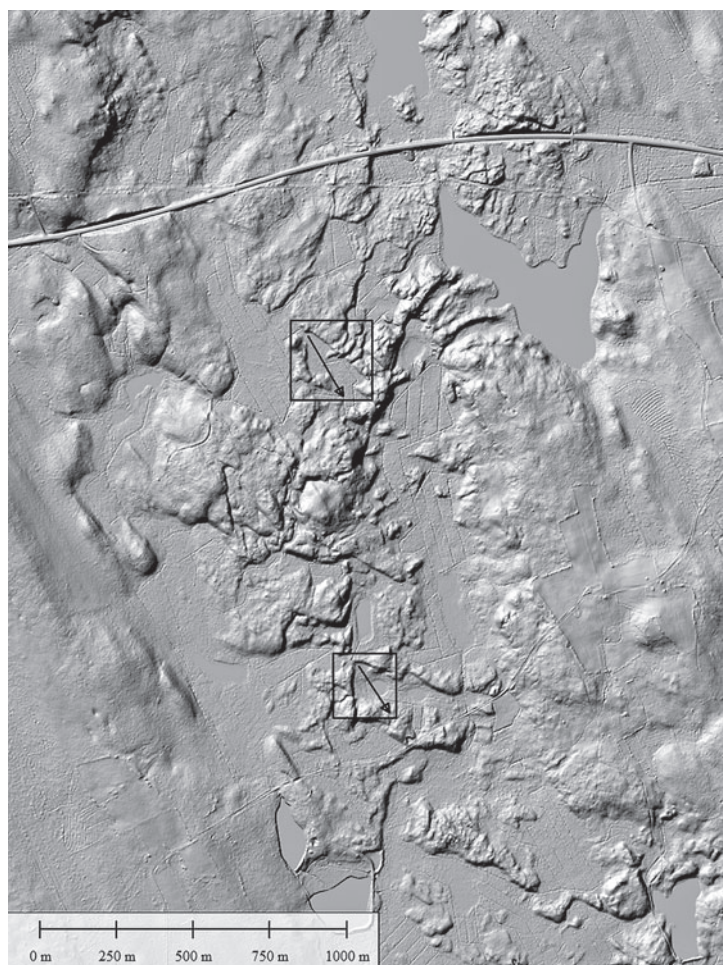
Figure 4. Fan-like hollows of plucked and glacio-tectonic morainic rafts with punctate proximal endings in the Oulujärvi Region, Kaivanto (Map sheet Q5222D, © National Land Survey).

arvo (vrt. kuva 5). Toisinaan sieppausalueen reunat ovat molemminpuoliset, toisinaan vain toinen puoli on kehittynyt tai vielä näkyvissä. Seudulla on myös pyöreäpäisiä muunnoksia muotoryhmästä. Muutkin dimensiot saattavat vaihdella melkoisesti, ja muotoja voi olla melkein päällekkäin useampia. Edustavimpien viuhkamurrosten proksimaalipään halkaisija on noin 30 m ja reunan pituus noin 500 m. Usein laajuus on luokkaa 50–200 m. Viuhkamurrosten reunojen korkeus tai painanteen syvyys on yleensä noin 1–5 m, mutta esimerkiksi kumpumoreenien yhteydessä voidaan saavuttaa suurempiakin mittoja. Painanteen reunassa voi olla pientä harjannetta ympäristöön päin.

Viuhkamurrosten reunat ovat hieman kaarevia, mutta kuitenkin jokseenkin suoria. Lisäksi seudulla on nähtävissä mm. moreenimäkien suojasivujen "louhintakoloja" ja reunamoreeneja, joiden morfologiassa on myös havaittavissa glasiotekto-

nista vaikutusta, joten niiden molempien synty saattaa olla ajallisestikin lähellä toisiaan. Toisinaan reunamoreeni vaikuttaa syntyneen kuin murroksen yhdestä reunasta. Maaperäkartan mukaan viuhkamurrokset ovat Kaivannossa moreenialueella.

Näiden viuhkamurrosten syntyprosessi on varmaankin muotoryhmälle spesifinen, mutta sen tarkempi olemus ei ole toistaiseksi tiedossa. Kaivannossa se luultavasti tapahtui aktiivisen (osaksi tai ajoittain kylmäreunaisen) reunakielekkeen miljöössä. Kuormituksessa näyttää syntyvän tietty säännönmukainen murtumalinja ja siirros vastineena jäätikön aiheuttamaan jännityskenttään. Lopuksi näin rajattu viuhkamainen tai alavirtaan levenevä kolmiomainen blokki joutuu luultavasti paljolti jäätyneenä (haurasmurtuma) jäätikkökuljetuksen piiriin. Esimerkiksi myös Pieksämäen Venetmäen itäpuolella esiintyvässä, "sirpaleisessa" tai kuin ohuehkoista laattamaisista murroskappaleista koos-



Kuva 5. Deformaatiosyntyisiä piirteitä drumliinien välilaakson kumpumoreeneissa. Moreenimorfologia näyttäisi koostuvan deformatiivisista ja liikutelluista ohuehkoista moreenilaatoista. Venetmäki, Pieksämäki. Pari viuhkamurrosta merkitty. (karttalehti N4433C,E; © Maanmittauslaitos avoin aineisto 03/2016).

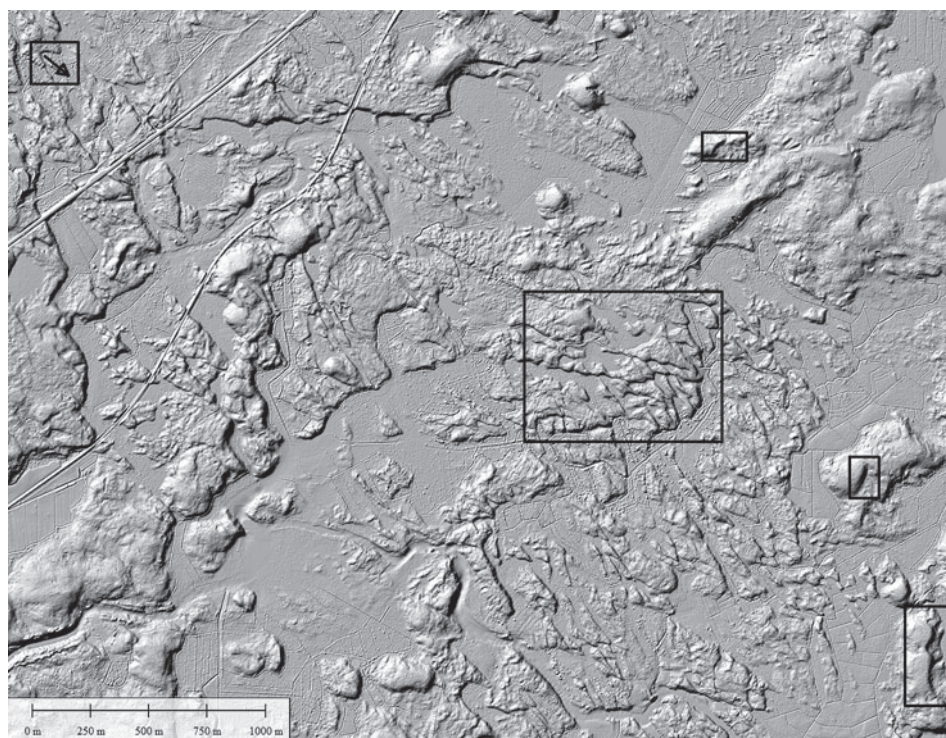
Figure 5. Deformational hummocky moraine in a low longitudinal depression between smooth drumlin fields. Venetmäki, Pieksämäki. Some fan-like fragments marked. (Map sheets N 4433C,E; © National Land Survey).

tuvassa kumpumoreenimaastossa näkyy samanlaisia viuhkamurroksia kuin Kaivannossa (kuva 5).

Viuhkamurrosten reunat ovat yleensä diagonaalisia suhteessa jäätikön vallitsevaan virtaussuuntaan. Sekundaariseen deformaatioon liittyvät murrokset voivat olla myös suoraviivaisia ja silloin yleensä poikittaisia. Tiheästi esiintyvät diagonaalimurrokset aiheuttavat salmiakkikuvioista topografiaa (kuva 6). Joillain alueilla sekundaariset deformaatiomurrokset muodostavat myös suorakulmaista ristikkokuvioita. Tällöin poikittaiset murrokset vuorottelevat diagonaalisten murosviivojen kanssa. Moreeniin syntyneet murrokset saattavat sekoittaa myös peruskallion rakosysteemiin.

Sieppauskolo tai poistettu moreenimuodostuman osa

Tämä on yleisiä moreenin sekundaarisen deformaation aikaansaamia pinnanmuotoja. Louhittu suojasivu on varmaankin sieppauskolon useimmin havaittava erikoistapaus. Muista sieppauskoloista yleisimpiä lienevät pienikokoiset variaatiot. Sieppausjälkien muoto vaihtelee mutta on toisinaan yllättävän neliömäinen. Esimerkiksi Oijärven länsipuolisessa, melko sileäpiirteisessä maastossa on suorakulmaisia osia käsittäviä koloja. Kuvassa 6 näkyy muutamia sieppauskolojakin ja/tai louhituista suojasivuja ribbed-moreenimaastossa Noor-



Kuva 6. Viuhkamurroksia ja suojasivun sieppauskoloja Noormarkussa (karttalehti M3421H, © Maanmittauslaitos avoin aineisto 03/2016).

Figure 6. Deformationally and glaciotectonically fragmented morainic topography in Noormarkku: e.g. fan-like hollows and lee-side plucking depressions (Map sheet M3421H, © National Land Survey).

markussa. Joillakin alueilla glasiaalitopografiassa näkyy paljon ja monenlaisia sekundaarisia koloja, repeämiä jne., toisilla alueilla primaaristen muodostumien alkuperäinen sileäpintainen muoto on hyvin säilynyt.

Kumpu tai harjanne

Loogisena jatkumona tämä muotoryhmä vastaa tavallaan hill-hole-parin hill-osaa ilman selvää lähötöpainannetta. Hill-osaa on varmaankin vaikea tunnistaa pelkän korkeusmallin perusteella, mutta myös kokonaisia sekundaarisen deformaation kumpu- tai harjannekenttiä saattaa syntyä tätä kautta. Lähinnä voisi tulla kysymykseen deformaatiosyntyinen juomumoreeni, kumpumoreeni, hiertomoreeni, puskumoreeni tai reunamoreeni. Kuvassa 5

saattaa olla myös edustettuna deformaatiokumpumoreeni. Tunnusmerkkinä voisi olla sekundaariseen blokkieroosioon viittaavat muut em. piirteet pirstaleisuuden ja fragmentaarisuuden lisäksi. Palapelimäisen tyyppin (Hättestrand ja Kleman 1999) Rogen-moreeni voidaan toisaalta joskus luokitella hill-hole-pareista muodostuneeksi siten, että siirtyminen on ollut niin vähäistä, että “välikolo” ei ole saavuttanut siirretyn osan leveyttä.

Keski-Pohjanmaalla esimerkiksi Kälviän ja Ullavan välillä ns. Kälviän-Kivijärven kumpumoreenikentässä on korkeusmallissa näkyvissä laajasti ja jopa vallitsevasti sekundaarisen deformaation vaikutusta. Se näkyy muodostumien repeilleissä pintamuodoissa ja erillisissä deformaatiosyntyisissä muodostumissa. Niiden suhteen voidaan puhua

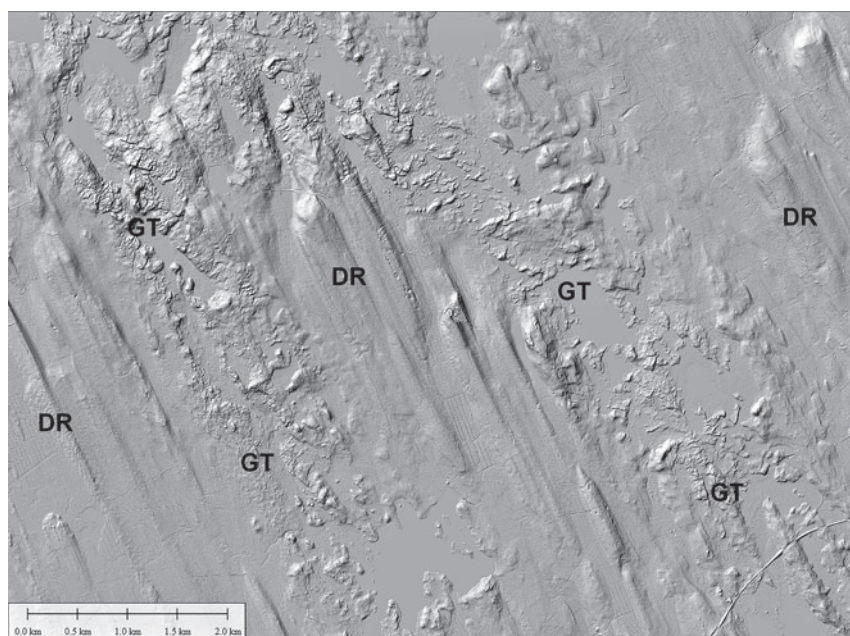
deformaatiokumpumoreeneista (esim. “laattamoreeni”), tai on jopa viitteitä osin kapeista, laattamaisista reunamoreeneista.

Pohdinta ja johtopäätökset

Osa epämääräisemmistä deformaatiosyntyisistä muodoista on syntynyt koko jääkauden yhteisvaikutuksesta, mutta enemmistö varmaankin paljolti viimeisen deglasiaation yhteydessä. Sekundaarista moreenimuodostumien blokkieroosiota voi esiintyä 1) samassa polytermisessä virtausvaiheessa, 2) eri virtausvaiheissa liittyen reunan perääntymiseen tai etenemiseen samassa tai aikaisemmassa jäätiköitymisessä ja 3) myös reunan vähäisemmissä oskiltaatioissa. Myös tämä sekundaarinen deformaatio

on voinut joutua myöhemmän deformaatiovaiheen kohteeksi kuten ribbed-moreenien pinta usein drumlinisoituu.

Näyttää siltä, että sekundaariseen deformaatioon liittyvät pinnanpiirteet moreenimuodostumis- sa ovat yllättävänkin yleisiä Suomessa. Sekundaariset deformaatioprosessit saattavat olla vahvasti mukana joidenkin moreenimuodostumien synnys- sä monilla alueilla. Sellaisia ovat varmaankin mm. jotkut kumpu-, hierto-, ribbed- ja reunamoreenit. Ehkä ilmeisintä deformaatiosyntyistä kumpumoreenityyppiä voisikin nimittää laattamoreeniksi (kuva 5). Ainakin deformaatio ja glasiotekniikka tulee ottaa huomioon yhtenä syntyyn vaikuttavana tekijänä. Eniten deformaatioon liittyviä pin-



Kuva 7. Topografialtaan rikkonaisia glasiotektonisia, deformaatiosyntyisiä pitkittäisiä vyöhykkeitä, jotka halkovat sileäpintaisempia drumliinialueita. Tämä yhdistelmä esiintyy tyypillisinä deglasiaation aikaisten virtauskielekkeiden tai jäävirtojen alueella. GT = glasiotektoninen ja louhintaan liittyvä vyöhyke. DR = drumliinialuetta. Pieksämäki (karttalehti N4344F,E; © Maanmittauslaitos avoin aineisto 03/2016).

Figure 7. Within main ice lobes or streams the glaciated terrain is often divided into smooth looking drumlin highlands and into rough erosional lowland zones, where the erosion has happened firstly by glaciotectionism and plucking. GT = Glacio-tectonic and plucking zone. DR = Drumlin field. Pieksämäki, southern Savonia (Map sheet N4344 F, H; © National Land Survey).

nanmuotoja lienee syntynyt Suomessa subglasiaalisesti ja submarginaalisesti, mutta joskus myös marginaalisesti jään reunan puskuun liittyen. Kylmän reunan pysähtyneen jään yli kohdistuva hiertoliike tai väistöliike ylöspäin suuntautuvia liukupintoja pitkin on yksi mahdollinen glasiotektoninen ympäristö. Siihen liittyvä proksimaalinen kylmän ja lämpimän pohjan vaihtumisvyöhyke lisää louhintamahdollisuuksia. Vuodenaikais- ja päivärytmit saattoivat vaikuttaa jäätikön reunan termiseen ja dynaamiseen tilaan isompien ilmastovaihteluiden ja jäätikködynaamisten vaihtelujen ohella (vrt. Sarala 2006).

Monet korkeusmallissa sirpaleisilta vaikuttavat kumpumoreenit voisivat olla syntyneet pitkälle sekundaariseen deformaatioon liittyen. Samoin epäsymmetriset, poikittaiset moreenivallit saattavat olla muodostumistavaltaan jossain määrin glasiotektonisia, varsinkin jos niiden yhteydessä esiintyy runsaasti deformaation piirteitä. Yleensä sirpaleinen moreenitopografia muodostaa drumliinialueilla radiaalisia vyöhykkeitä, mikä ei niinkään viittaa kylmäreunaiseen deglasiaatioon vaan polytermisten vyöhykkeiden pitkittaiseen suuntautumiseen jäätikön pohjalla, ehkä drumlinisaation loppuvaiheissa. Lisäksi kumpumoreenit näyttävät keskittyvän harjujen läheisille vyöhykkeille, viitaten vielä hieman myöhäisempään muodostumisaikaan joskaan ei välttämättä glasiotektoniseen syntyyn.

Voimakasta ja laaja-alaista sekundaarista deformaatiota on havaittavissa esimerkiksi Porin seudulla (kuva 6), Keski-Pohjanmaalla ja Etelä-Lapissa. Suomen nimetyistä kumpumoreenikentistä (Mäkinen *et al.* 2007) ja niiden läheisistä drumliinikenttien osista sekundaarista deformaatiota näkyy ainakin paikoin huomattavasti seuraavissa: Pori-Ahlainen, Vaasa-Maksamaa, Kälviä-Kivijärvi, Kalajoki-Pihtipudas, Etelä-Savo, Leppävirta, Kaajani-Outokumpu, Oulu, Puolanka-Vaala, Kuhmo, Sihtuuna, Ranua, Kemijärvi ja Sevetti. Aktiivisten kielekevirtojen alueilla kuten Järvi-Suomessa, Savossa, Pohjois-Karjalassa ja Kainuussa esiintyy yleisesti virtaviivaisia, maastoja halkovia ja

enemmän tai vähemmän pitkittäisiä ilmeisesti myös sekundaariseen deformaatioon ja jäätikön louhi-vaan ja pysähtelevään virtaukseen liittyviä rikkonaisen topografian laaksovyöhykkeitä, joihin sijoittuu myös kumpumoreeneja ja glasiifluviaalisen eroosion ja akkumulaation maastonmuotoja (kuva 7). Joillakin alueilla Itä-Suomessa glasiotektoninen kumpumoreeni esiintyy yleisenä korkeiden kalliomäkien suojasivuilla.

Sekundaariseen deformaatioon liittyvien ja glasiotektonisten prosessien voisi ajatella keskittyvän jäätikön vyöhykkeisiin, joissa kylmän ja lämpimän pohjan olosuhteet vaihtuvat paikallisesti ja/tai ajallisesti. Jäätikön liike ja myöhempi pysähtyminen sekä sulaminen sitten täydentävät geomorfologista prosessia. Tuollaisia vaihtumisvyöhykkeitä lienee ollut sekä mannerjäätikön mahdollisesti kylmän keskiosan ympärillä, lähellä reunaa ja pitkittäisissä vyöhykkeissä drumliinimaastojen välialueilla. Moreenitopografian murtoviivaisuus liittyy usein primaaristen muodostumien sekundaariseen deformaatioon.

MATTI SEPPÄLÄ

Rannanpohja 13 C

91800 Tyrnävä

mv.seppala@gmail.com

Blogi: <http://glasialgeo.blogspot.fi>

Kirjoittaja on glasiaalitopografian amatööribloggaaja, jolla on maaperägeologin koulutus.

Kirjallisuus

- Aario, R., 1977. Associations of flutings, drumlins, hummocks and transverse ridges. *GeoJournal* 1:65–72.
- Aber, J.S. ja Ber, A., 2007. *Glaciotectonism. Developments in Quaternary Science* 6. Elsevier, Amsterdam, 246 s.
- Aber, J.S., Croot, D.G. ja Fenton, M.M., 1989. *Glaciotectonic Landforms and Structures*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 201 s.
- Aber, J.S., Bluemle, J.P., Brigham-Grette, J., Dredge, L.A., Sauchyn, D.J. ja Ackerman, D.L., 1993. *Glaciotectonic data base and mapping of North America*. Teoksessa: Aber, J.S. (toim.), *Glacio-*

tectonics and mapping of glacial deposits. Canadian Plains Proceedings 25/1, Canadian Plains Research Center, 177–200.

- Bennet, M. ja Glasser, N., 2009. Glacial Geology: Ice sheets and landforms. Wiley-Blackwell, 385 s.
- Dunlop, P. ja Clark, C. D., 2006. The morphological characteristics of ribbed moraine. Quaternary Science Reviews 25:1669–1691.
- Hooke, R. LeB., 2011. Water: the key to landforms of the subglacial environment: Proceedings of the meeting of the Canadian Quaternary Association (GeoHydro2011) in Quebec City, Canada, August 28–31, 2011.
- Hättestrand, C. ja Kleman, J., 1999. Ribbed moraine formation. Quaternary Science Reviews 18:43–61.
- Kleman, J. ja Borgström I., 1994. Glacial landforms indicative of a partly frozen bed. Journal of Glaciology 40:255–264.
- Lindén, M., Möller, P. ja Adrielsson, L., 2008. Ribbed moraine formed by subglacial folding, thrust stacking and lee-side cavity infill. Boreas 37:102–131.
- Mäkinen, K., Palmu, J.-P., Teeriaho, J., Rönty, H., Rauhaniemi, T. ja Jarva, J., 2007. Valtakunnallisesti arvokkaat moreenimuodostumat. Suomen ympäristö 14/2007. Ympäristöministeriö, 120 s.
- Sarala, P., 2006. Ribbed moraine stratigraphy and formation in southern Finnish Lapland. Journal of Quaternary Science 21:387–398.

Summary:

Morainic topography of Finland and the role of glaciotectionics and secondary deformation

In lidar-based digital elevation models, morainic plucking and glaciotectionism arises as a possibly underestimated active formation process. It produced fragmented till surfaces, probably mostly by brittle fracture of frozen till, and thus affected e.g. the formation of glaciotectionic hummocky moraines, ice-shoved depressions and hills, fan-shaped fragmented zones, ribbed moraines, etc.

Good signs of deformational and glaciotectionic effect to the till surfaces are the

plucked edges or steps and semilinear or fan-like quarry edges in topography, often oriented horizontally diagonal compared with the main flow direction of the glacier. Plucked and glaciotectionically fractured steps can be so tight that they construct horizontal, apparently diamond-patterned surfaces (Fig. 6). Punctate proximal endings of the fan-like hollows of glaciotectionic and plucked morainic rafts can sometimes be seen (Fig. 4).

Within main ice lobes or streams, the glaciated terrain is often divided into smooth-looking drumlin highlands and into rough erosional lowland zones, where the erosion has happened first by plucking deformation and glaciotectionism and then by glaciofluvial streams. The eskers and different types of hummocky moraines are also often situated in the same zones.

Deformational and glaciotectionic features are probably connected to the warm/cold and cold/warm transition zones at the glacier base, such as the cold interior parts of the ice sheet, frozen bed patches or sticky spots between ice streams and at their onset areas, and possible cold margins. The exact nature of longitudinal rough zones between smooth drumlin swarms remains unclear. They may represent zones with slower ice motion, greater glaciofluvial drainage and temporary freezing and plucking and postglacial drainage, caused mostly by the thermal and dynamic regime of the retreating ice sheet.

In addition to the longitudinal erosional zones of the main ice lobes, strong and broad-based secondary morainic plucking and glaciotectionism can be seen, for example, in the Pori region (Figure 5), in central Ostrobothnia and in southern Lapland. The abundance of the deformational and glaciotectionic features indicates that the base of the receding ice sheet was not always and in all places at the pressure melting point.