

Jäätikön lumoissa

Glasiodynamiikan perusasioiden äärellä Pohjois-Ruotsissa ja Norjassa

PERTTI SARALA JA NIKO PUTKINEN

Geologisten prosessien ymmärtäminen vaatii välillä irtautumista karttasovelluksista, tietokannoista ja pölyttyneistä työhuoneista ja suuntaamista kohti jylhiä tunturimaisemia sekä jäätikköä. Kenttä-ekskursio antaa tähän oivan tilaisuuden niin visuaalisen mielihyvän kuin pintaa syvemmän tietämyksen lisäämisen muodossa. Suomessa on totuttu tarkastelemaan ja tutkimaan jäätikkösyntyisiä maaperäkerrostumia sekä työskentelemään niitä hyödyntäen, ja siksi aika ajoin on hyvä käydä katsomassa, millaiset prosessit ovat kaiken takana.

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK:n) aktiiviselle tutkijaryhmälle, vahvistettuna Työ- ja elinkeinoministeriön yhden hengen iskuryhmällä, tarjoutui tähän loistava tilaisuus syyskuun 2015 alussa (2.–5.9.) auton keulojen suuntautuessa kohti Pohjois-Ruotsia ja Norjaa. Ekskursio toteutettiin osana GTK:n sisäistä geoalan osaamiskoulutusta, GTK-akatemiaa, ja sen Glasiodynamiikka-koulutuskokonaisuutta. Matkan teemana oli jäätikön keskusaluiden maaperämuodostumien ja morfologian tunnistaminen ja niiden hyödyntäminen jäätikön liikkeen dynamiikan ja pohjaosan prosessien ilmentäjinä sekä tutustuminen jäätikköön ja sen reunan prosesseihin. Morfologisten ja dynaamisten prosessien taustaan pe-

rehdyttiin matkalla Skellefteåsta Ruotsin tunturien kautta Atlantin rannikolle ja moderniin jäätikköympäristöön tutustuttiin Svartisen-jäätikön Engabreen-kielekkeellä, Glomfjordissa, Norjassa (kuva 1). Ekskursion oppaina toimivat geologi Niko Putkinen ja erikoistutkija Pertti Sarala GTK:sta.

Mannerjäätikön ytimessä

Reitti Itämeren länsirannikolta Umeå–Skellefteå-alueelta Norjan vuoristoon Arvidsjaurin ja Arjeplogin kautta tarjoaa loistavan tilaisuuden muodostaa kokonaiskuvaa aktiivisen jäätikön kielekevirtauksen dynamiikasta ja pohjaolojen muutoksista. Isompana viitekehyksenä mainittakoon, että Ruotsin puolella ollaan tekemisissä saman jäätikkökielekkeen kanssa, joka jatkuu Suomen puolella Järvi-Suomen kielekevirtauksena. Suomessa kielekevirtauksen synnyttämässä morfologiassa dominoi laaja Keitele–Pieksämäki-drumliinikenttä osoituksena nopeasta lämminpohjaisesta jäätikkövirtauksesta. Ruotsin puolella on nähtävissä jäätikön pohjan olosuhteiden muuttumisvyöhyke lämpimästä kylmään jäätikkövirtauksen juuriosassa. Lännemmäksi, tunturialueelle noustessa, reunaosat ovat lisäksi jakautuneet useisiin pienempiin, laaksoja myötäileviin osakielekevirtauksiin.

Maaperämuodostumissa jäätikkökielek-



Kuva 1. Reittikartta ja kohteet.

Figure 1. Excursion route map and the location of the targets.

keen kehityshistoria näkyy rannikkoalueen luode-kaakko-suuntaisten drumliinien ja megaflutingien vaihtumisena Arvidsjaurin ja Arjeplogin alueella esiintyviin ribbed-moreeneihin (Hättestrand 1997, 1998). Tässä vyöhykkeessä lämminpohjainen kieleke on vaihtunut jäätikön kylmähajaisen keskusalueeseen. Vaihtumisvyöhykkeessä ovat syntyneet jäätikön liikesuuntaan nähden poikittaisten ribbed-moreenien kentät vastaavasti kuten Etelä-Lapin alueella ja Pohjanmaalla Suomen puolella (vrt. Sarala 2003, 2006). Matkan varrella löydettiin useita edustavia pysähtymiskohteita niin drumliinien valokuvaamiseen

kuin ribbed-moreenien pinnanmuotoihin ja rakenteeseen tutustumiseen (kuva 2).

Mielenkiintoisen lisän morfologioiden leikkelyyn toivat Veiki-moreenit, joita tavataan Pohjois-Ruotsin alueella kapeana, lounas-koillinen-suuntaisena vyöhykkeenä. Teräväpiirteiset, muodoltaan pyöreähköt tai aavistuksen kulmikkaat ja reunoiltaan tyypillisesti koholla olevat Veiki-moreeniharjanteet edustavat monivaiheista, jäätikön keskusalueen kerrostumisprosessia (Sigfúsdóttir 2013). Ympäristöään tyypillisesti 10–20 m korkeammat harjanteet erottuvat myös harjanteiden väleissä esiintyvien soiden ja lampien ansiosta.



Kuva 2. Maisemakuvia a) drumliinista ja megaflutingista (drumliini on erotettu katkoviivalla taustan megaflutingista) ja b) lohkarypeitteisistä ribbed-moreeniharjanteista. Jäätikön liikesuunta on merkitty nuolilla. Kuvat: a) J. Hämäläinen ja b) E. Kosonen

Figure 2. Scenery photos of a) drumlin (separated by dashed line from the background) and megafluting, and b) boulder-covered ribbed moraine ridges. Ice flow direction is marked with an arrow. Photos: a) J. Hämäläinen and b) E. Kosonen

Merkkinä jäätikön deglasiaation loppuvaiheen prosesseista ja reunan sulamisesta tavattiin useassa kohdassa näyttäviä kuolleen jään synnyttämiä kumpumoreenikenttiä, jäätikköjokien harju- ja deltakerrostumia sekä huuhoutuneita rakkakivikoita tai lohkar Kenttiä. Havainnot näistä keskittyivät erityisesti alaville

alueille laaksoihin osoittaen monissa tapauksissa sulamisvesien kanavoitumisesta topografisesti alavimpiin maaston kohtiin.

Tunturialueella maisemaa dominoivat lumiset lakialueet ja jäätikkökielekkeiden uurtamat laaksot. Laaksoissa oli nähtävissä selkeästi jään muovaama virtaviivaisuus matalien



Kuva 3. Virtaavan jäätikön muovaamaa tunturimaisemaa Ruotsin tuntureilla. Oikealta vasemmalle virrannut jää on uurtanut ja kerrostanut alleen flutingeja, joita halkovat sulamisvesien uurtamat uomaverkostot. Kuva: N. Putkinen

Figure 3. Lineated landscape (flutings and fluted surface) made by an ice stream in the fell region in Sweden. Ice flow direction has been from right to left. Photo: N. Putkinen

flutingien ja pienien kourujen verhoamassa tunturimaisemassa (kuva 3). Siellä täällä jäätikkö oli louhinut kallionokkia ja sulamisvedet syövyttäneet rakkaan uomaverkostoja. Tunturimaiseman vaihtuessa vuoristoksi Ruotsin ja Norjan rajalla jäätikön passivoituminen oli nähtävissä selkeiden lineaatiomerkkien hävitessä pinnanmuodoista.

Norjan puolella serpentiiniteitä ja syviä laaksoja autolla ajaessa glasiaalimorfologinen havainnointi ei tuottanut suuria U-laaksohavaintoja merkittävämpiä tuloksia. Sen sijaan jylhät kallio- ja vuoristomaisemat sekä pimevä ilta toivat omaa eksotiikkaansa ekskursion. Myös pitkään jatkunut vuonon perien kiertäminen johti viimein pitkän matkapäivän jälkeen toivottuun lopputulokseen ja majoituspaidan löytymiseen Glomfjordista, Norjan rannikolta.

Svartiseniä tervehtimässä

Varhain seuraavana aamuna tutkijakunta pakasi reppuunsa runsaat eväät päivän jäätikölle suuntautuvaa vaellusta ajatellen. Tiedossa oli, ettei laakson jääjärven rannalla sijaitseva kahvila ollut enää syyskuussa auki. Jäätikköseikkailu alkoi Holandsfjorden-vuonon ylityksellä geologien käyttöön tilatulla paatilla. Satasta alkanut huikea jäätikkönäkymä lumosi kauneudellaan (kuva 4), eikä pieni sadekuurokaan saanut tutkijoiden hymyä hyytymään kameroiden takaa.

Etukäteen oli jo selvillä, että aivan Engabreen-laaksojäätikön edusta on pelkkää kiteistä kalliota, joten sieltä suurempien geomorfologisten muodostumien etsintä olisi turhaa. Näin ollen matka jäätikölle sujui maastoa tarkastellen. Jäätikkökieleke oli aikoinaan täyttänyt koko laakson, josta merkinä olivat laaksoa



Kuva 4. Engabreen-jäätikkökieleke vuonosta päin eli pohjoisesta katsottuna. Kuva: T. Hatakka

Figure 4. Overview of the Engabreen valley glacier from the fjord, i.e. from north to south. Photo: T. Hatakka

reunustavien jyrkkien vuorenrinteiden yläosista havaitut kolme vaakatasoista sivumoreenivallia ja vuoren rinteeltä hahmottuva ”trim line”. Tiedossa oli myös, että jäätikön edustan Engabrevatnet-järvi oli paljastunut jäätikön peräännyttyä maksimiasemastaan 1900-luvun taitteesta alkaen. Geomorfologialtaan rikkainta aluetta olikin jääjärven luoteispään reunavyöhykkeen moreenimuodot, joista voimakkaan sulamisvesitoiminnan jäljiltä oli nähtävillä joitain kumpareita esittämässä muinaista jään reuna-asemaa. Sen sijaan jään sivumoreeneista itäinen näytti vaikuttavalta varsinkin järven koillisosassa, kahvilan vierellä. Tutkijoiden matka jäätikölle suuntautui Engabrevatnetin länsipuolta tunturikoivikon suojassa. Kuten aina jäätikölle mentäessä huomataan, matka on pitkä ja hankala – niin myös täällä.

Jääjärven rannalle saapuessa ekskursioryhmä kokoontui yhteiskuvaan (kuva 5). Sen jäl-

keen siirryttiin tarkastelemaan järven ja silokallioiden välissä sijainnutta pientä sandurmuodostumaa, jonka läpi jäätiköltä tuleva sulamisvesiuoma virtasi. Samalla tarkasteltiin vanhoja valokuvia noin viidentoista vuoden takaa, joissa jäätikön reunan havaittiin sijainneen lähellä järven rantaa, noin 30 m:n korkeudella meren pinnan yläpuolella. Jäätikön sulamisen todettiin olleen sen jälkeen huomattavan voimakasta, sillä nykyisin jäätikön reuna on vetäytynyt jo liki 400 metrin päähän järven rannasta, noin 90 metrin korkeuteen meren pinnasta.

Sitten alkoi viimeinen ponnistus – jäätikön saavuttaminen. Reittejä jäätikölle oli useita: joku koki umpikujan polun päättyessä kallioiseen jäätikköjokipenkkään, toinen yritti sinne kauempaa vuoren rinnettä pitkin ikään kuin laskeutuen reunalle. Osa kiipesi lähes suorinta reittiä laaksosta ylös silokallioita pit-



Kuva 5. Yhteisvalokuva Engabreen-jäätikön edustalla. Kuva: P. Sarala

Figure 5. Group photo in front of the Engebreen valley glacier. Photo: P. Sarala

kin. Lopulta retkeläisiä alkoi ilmestyä jäätikön reunalle eri suunnilta, ja kaikilla oli hymy herkässä, kun pitkä ja vaivalloinen matka oli saanut päätepisteensä.

Jäätikön reunalla jutusteltiin jäätikön väristä, hajusta ja mausta. Joku pudotti palan jäätä lasiinkin kuunnellen siitä jäätikköjään sisään vangiksi jääneiden ilmakuplien poksahdeltua jääkiteiden haljettua mallastisleisessä juomassa. Havaittiin, että jää oli todella puhdasta, hienoineksen määrän ollessa erittäin vähäinen. Tämän pääteltiin selittävän myös jään edustalta puuttuvan moreenikerrostuman.

Monet tarkastelivat kallion ristiin rastiin meneviä uurteita; näytti siltä, että kallioperän muodot olivat ohjailleet jäätikön liikettä paljonkin. Joku bongasi alempaa jäätikköjoen vierestä, aivan jään reunan tuntumasta pienen veden täyttämän hiidenkirnun, mikä alkoi houkutella monia leijonia äärelleen. Pian joku oli ottanut kengän jalastaan ja kasteli varpaitaan todeten veden lämpötilan olevan asteen tai parin verran korkeintaan. Eipä mennyt kauaakaan, kun joukko geologeja istui tuossa historiallisessa hiidenkirnussa loppujen ikuisuudessa tapahtumaa kameroillaan (ks. lehden kansikuva).

Hiidenkirnussa uiminen olikin viimeisiä kohokohtia jäätikön äärellä. Vähitellen kylmä hivuttautui puseron alle, kun hiki alkoi kuivua jäätiköltä navakasti puhaltavan katabaattisen tuulen alla. Oli tullut aika hyvästellä Engabreen ja suunnata taival kohti vuonon rannalla odottavaa paattia. Matkan varrella saattoi vielä ihastella puhtaita kallioita, kitukasvuista luontoa ja jääjärven rantamaisemia, jotka tuntuivat olevan itäpuolella miellyttävämmän näköisiä tulomatkaan verrattuna. Paluumatka jäätiköltä oli alamäkeä, joten rullaaminen oli helppoa. Engabrevatnetin kahvilan viihtyisiä ympäristö penkkeineen huomattiin vasta pois tullessa ja siinä istahdettiin vielä hetki maiseimia ihaillen ja viimeisiä eväitä syöden.

Kallioflutsit

Paattimatkan jälkeen autossa joku ehti nukahdaakin, kunnes autot pysähtyivät äkisti pitkän tunnelin jälkeen. Joku oli nähnyt kallioflutingeja tien lähituntumassa, Glomfjordin lähellä, ja niitä piti tietysti päästä tarkastelemaan lähemmin. Vettä satoi, mutta se ei pidätellyt innokkaita geologeja, vaan kaikki halusivat nähdä nuo ihmetykset. Poikkeuksellisen hieno graniittiseen kallionpintaan syöpynyt harjannemorfologia avautui vain noin 50 m kävelyn jälkeen. Paikka on vuonon sivussa pohjoisen jyrkästi viettävän reunakallion päällä, josta oli kymmenien metrien suora pudotus vuonon pohjalle. Siinä näitä noin metrin korkuisia ja useiden kymmenten metrien pituisia, virtaviivaisia kallioflutseja ihmeteltiin (kuva 6).

Kallioflutingien esiintyminen ja muoto synnyttivät luonnollisesti vilkasta keskustelua teorioiden vaihdellessa jäätikön virtauksen uurtavasta toiminnasta sulamisvesien syövytykseen. Keskustelu ei johtanut sateessa seistessä selkeään yksituumaisuuteen, vaan aiheeseen jouduttiin vielä myöhemmin illalla palaamaan ekskursiopäiväallisellä sekä myöhään pikkutunneilla jäätikköjään koostumusta analysoitaessa. Harhailivatpa ajatukset syntyteorioihin vielä kotimat kallakin sekä myöhemmin toimistolla vaihdellen jään tai veden kulutuksen välillä. Muodot eivät seurailleet mitään kallioperän rakenteita, joten oli selvää, että nämä synnyttänyt voima oli valtava. Vähitellen vallitsevaksi selitykseksi ilmiölle vakiintui runsaiden jään ja alustan välisten paineellisten sulamisvesien suuntautuminen vuonon rinnettä alas. Siinä pauhussa veden mukana liikkui myös maa-ainesta, joka toimi eroosion vahvistajana.

Kallioflutsit olivat matkan viimeinen villallinen kohde. Lauantai sujui kotiinpaluun merkeissä retkikunnan jakautuessa kahteen



Kuva 6. Pohjoiseen vuonoon viettävät kallioflutinget Glomfjordin lähellä Flykanissa, Norjassa. Mittakaavana retken toinen opas Niko Putkinen. Kuva: O. Sallasmaa

Figure 6. Flutings carved into the bedrock surface at Flykan, near Glomfjord, Norway. Niko Putkinen, one of the guides as a scale. Photo: O. Sallasmaa

pikkubussiryhmään. Geologialle ei ollut paljon sijaa pohjoiseen suuntautuneessa autossa, jossa tavoitteena oli päästä Suomen puolelle ja kotiin vielä saman päivän aikana. Paluumatkasta jäi positiivisena muistona mieleen Leon's Steakhouse Arjeblogissa. Etelään ja kohti Lyckseleä sekä myöhemmin Umeåta suuntautuneessa autossa oli sen sijaan esiintynyt kuulopuheiden perusteella jatkuvaa geologista hörinää...

Yhdessä opittua

Ekskursio onnistui erinomaisen hyvin ja toteutti hyvin GTK-akatemian glasiodynamiikkateeman koulutuksellisen tavoitteen. Suurimmalle osalle, kuten myös ekskursion oppaille, ekskursioreitti ja Engabreenilla käynti olivat ensimmäinen kerta ja siten myös pysähtymiskohteet olivat entuudestaan tuntemattomia. Tämä loi myös ekskursion suunnittelulle omat

haasteensa sopivien pysähdyspaikkojen etsinnässä. Ruotsin puolen ekskursiokohteiden valinnassa oli tosin saatu apua tohtori Clas Hättestrandilta Tukholman yliopistolta ja professori Keijo Nenoselta GTK:sta, mistä olemme suuresti kiitollisia. Lisäksi ekskursion oppaat olivat koko ajan valppaina mielenkiintoisten glasiaalimorfologisten pysähtymiskohteiden bongauksessa.

Kokonaisuutena ekskursiolla saatiin hieno läpileikkaus jäätikkökielekkeen dynamiikasta ja pohjan kulutus-, deformaatio- sekä kerrostumisolosuhteiden muutoksista sen elinkaaren eri vaiheissa. Matkan kohokohtana oli tietysti jäätiköllä käynti ja jylhien vuoristomaisemien havainnointi. Havainnot ja alustukset johtivat myös vilkkaaseen ja antoisaan keskusteluun koko matkan ajan, mikä lisäsi omalta osaltaan ekskursion antia ja positiivista yhdessä oppimisen kokemusta.

Ekskursion opetuksina voidaan vielä mainita:

- Jäätiköt ja erityisesti laaksojäätiköt eivät ole pysyviä, vaan ne reagoivat nopeasti ilmaston muutokseen.
- Jäätikkövirtaus on mannerjäätikön tapa purkaa massaansa.
- Jäätikkövirtaus voidaan jakaa osiin glasi-aaligeomorfologisten muodostumien perusteella:
 - juuriosaan, joita edustavat ribbed- ja kumpumoreenit,
 - vartaloon, jossa tavataan megaflutingeja ja
 - reunaosaan, jossa hidastuvaa liikettä virtauksen reunassa edustavat drumliinit ja reunamoreenit.
- Useinkaan edellä mainitut vyöhykkeet eivät olleet näin selkeitä, koska mm. sedimenttikerroksen paksuus kiteisen kallio-perän päällä yhdessä topografian kanssa kontrolloivat liikkeen nopeutta.

PERTTI SARALA

Geologian tutkimuskeskus
PL 77
96101 Rovaniemi
pertti.sarala@gtk.fi

NIKO PUTKINEN

Geologian tutkimuskeskus
PL 97
67101 Kokkola,
niko.putkinen@gtk.fi

Ekskursion osallistujat:

Jussi Ahonen, Anu Eskelinen, Tarja Hatakka, Jyrki Hämäläinen, Jaana Jarva, Emilia Kosonen, Katja Lalli, Kirsti Loukola-Ruskeeniemi,

Martti Melamies, Tiina Nurminen, Raija Pietilä, Niko Putkinen, Timo Ruskeeniemi, Olli Sallasmaa, Pertti Sarala ja Anne Taivalkoski.

Retken järjestelystä vastasivat: Satu Putkinen, Niko Putkinen, Pertti Sarala ja Jussi Ahonen

Lisätietoja

Geology and landscape around the Arctic Circle in Norway – Part II: Geological guide, 80–92. https://www2.uef.fi/documents/1347235/1368104/Review_Norway_Part_II.pdf/e81c6ef0-9f2e-48e6-b771-0a60fb94163b [19.11.2015]

Engabreen. Norwegian Water Resources and Energy Directorate. <http://www.nve.no/en/Water/Hydrology/Glaciers/Glacier-monitoring/Mass-balance-measurements/Engabreen—/> [19.11.2015]

Summary

Enchanted by glacial processes – an excursion to northern Sweden and Norway

A small group of Finnish geologists visited northern Sweden and Norway on 2–5 September 2015. The field trip was the final period of the “Glacial dynamics” short course organized as a part of GTK Academy, an in-house training program of the Geological Survey of Finland (GTK). The scope of the trip was to look at a glacier dynamics onsite and discuss the facts concerning ice streams, i.e., what are the fundamental factors affecting glaciers’ streaming behaviour and what is the significance of the basal conditions during the life cycle of an ice stream. The excursion was planned to geographically follow the Finnish Lake District ice stream which had its root part in the Scandinavian mountains and the

terminus in the Salpausselkä end moraines formed during the Younger Dryas period of the last deglaciation. To this end, we drove from Skellefteå to Arvidsjaur and Arjeplog up to the Scandinavian mountains. On the way, we became acquainted with drumlins and megaflutings, different types of ribbed moraines, Veiki moraines, glaciofluvial eskers and deltas, boulder fields and finally, streamlined terrain (flutings) and glacially lineated bedrock surface in the fell valleys.

Our destination was Engabreen glacier, which is the outlet glacier of Svartisen glacier. It has retreated several hundred metres in the 15 years since GTK's last trip to the region. After a long walk, we were pleased to see that huge glacier mass ending on crystalline bedrock. During the walk, we noted the remains of the nineteenth century ice margin which were strongly modified by the glacial river, as well as a big lateral moraine ridge on the eastern side of Engabrevatnet, the proglacial lake. It seems that nowadays Engabreen glacier hardly flows, and that the main streaming phase perhaps operated between the Little Ice Age and the beginning of the twentieth century, when the glacier surface was much steeper and the glacier much thicker than today. The glacier bed was a mixed-bed type, i.e. a mixture of glacial sediments and hard rock in the valley, while the present day ice margin ends in a pure hard bed, i.e. crystalline bedrock. One of the most fascinated spots of the day was a pot hole existing in striated rocks just in front of the ice margin. On the return trip to Glomfjord the group stopped at an outcrop formed of fluted bedrock surface just next to the main road. There were fascinating, one metre high and some tens of metres long lineations carved to the fresh, hard and structureless granite bedrock. This stop caused a long discussion about the formation process of the flutings:

were they formed by the glacier itself or glacier meltwater based erosion where the clasts were an abrasive agent?

The highlight of the trip was to understand the ice stream dimensions supplemented by the recognition of onset, trunk and terminus zones of glaciers in the field. Those zones were represented by different geomorphological features such as ribbed and hummocky moraines existing in the onset zone, megaflutings and esker chains in the trunk and terminus zones and finally drumlins and end moraines in the terminus zone. It was also realized that climate, topography and bed conditions are the most dominating factors in ice stream behaviour.

Kirjallisuus

- Hättestrand, C., 1997. Ribbed moraines in Sweden – distribution pattern and paleoglaciological implications. *Sedimentary Geology* 111:41–56.
- Hättestrand, C., 1998. The glacial geomorphology of central and northern Sweden. *Sveriges Geologiska Undersökning* 85, 47 s.
- Sigfúsdóttir, T., 2013. A sedimentological and stratigraphical study of Veiki moraine in northernmost Sweden. *Dissertations in Geology at Lund University*, Master's thesis 354.
- Sarala, P., 2003. Ribbed-moreenit – jäätikön liikesuunnan poikittaiset indikaattorit. *Geologi* 55:250–253.
- Sarala, P., 2006. Ribbed moraine stratigraphy and formation in southern Finnish Lapland. *Journal of Quaternary Science* 21:387–398.