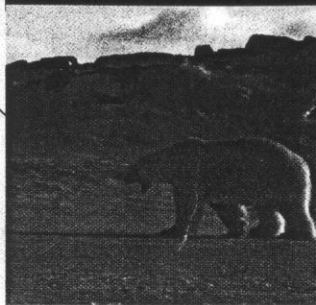


Arktisten alueiden herkäät ja ekosysteemit ovat yksi tutkimusalueita selvitetään ympäristömuutoksen erityisesti pienet jäätiköt reaktiivisesti ilmastomuutoksiin. tutkimalla saadaan havaintojen pinnan kohoamisesta.



Tutkimusalue sijaitsee yhdellä päävaellusreiteistä. Huippuvuorontähtämätöntä kantaa asetta suuren ulkopuolella arvaamattomien jänvalta.



Tutkimusta Huippuvuorilla

Anja Pälli
Tutkija
Geofysiikan osasto
Oulun yliopisto
anjapa@paju.oulu.fi

John Moore
Ph.D.
Arktinen Keskus
Lapin yliopisto
jmoore@levi.urova.fi

Jäätiköstä saadaan tietoa ilmastomuutoksista

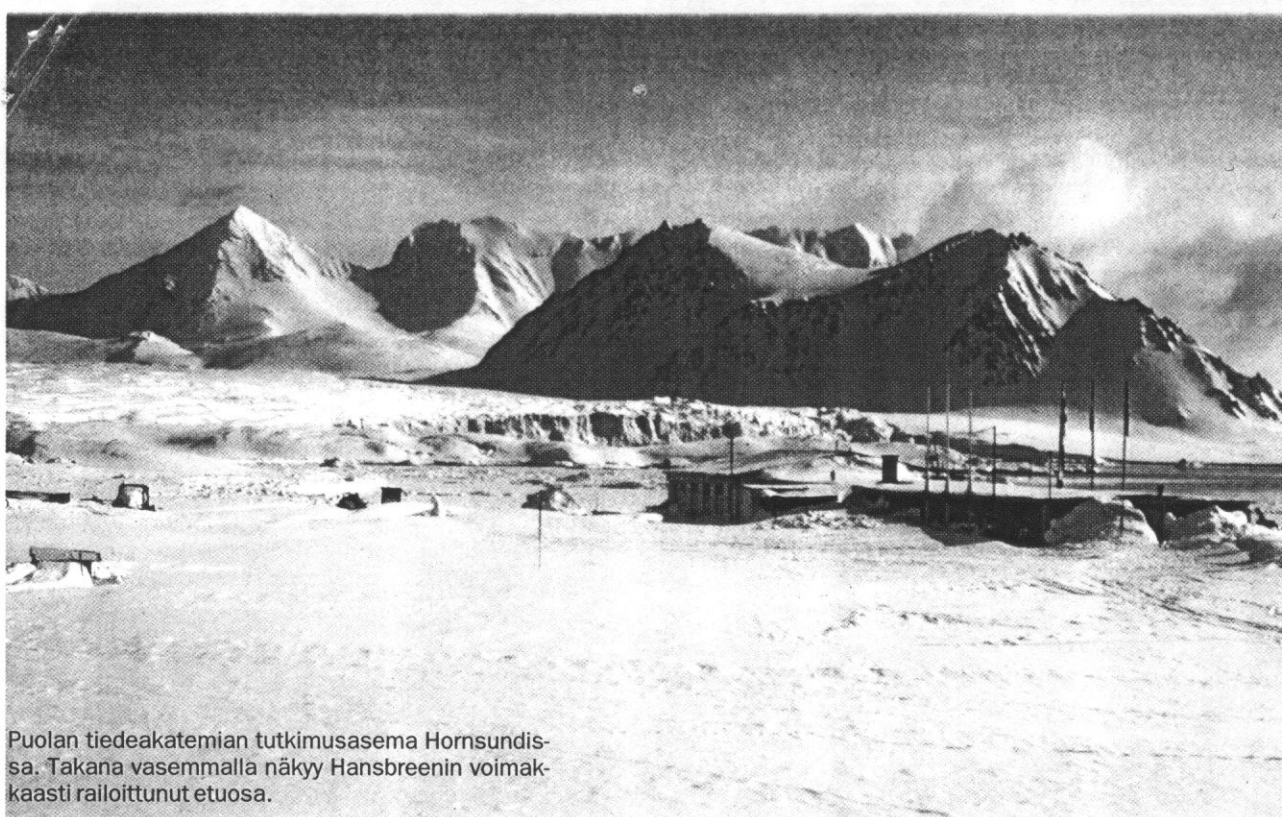
Jäätikköjää on erittäin herkkä ilmastomuutosten ilmasija. Jäätiköt ovat syntyneet pitkien aikojen kuluessa alueille, joissa vuotuiset lumikerrokset säilyvät sulamatta läpi kesän. Useiden ylivuotisten lumikerrosten kasautuessa ja tiivistyessä on syntynyt lopulta kiinteää jäätä. Kulloisenkin lumikerroksen mukana on jäätikköön pakkautunut tietoa sen hetkisen ilmaston koostumuksesta. Jäästä otetuista kairasydännäytteistä voidaan määrittää ilmastohistoria jopa 250 000 vuotta taakseen.

muilla mittauksilla pyritään selvittämään mm. jäätikön sen hetkinen massatasapainotila, eli kasvaako jäätikön massa vai kutistuuko se, sekä jäätikön nopeus. Nopeudella tarkoitetaan jään hidasta vuotuista liikkumisvauhtia jäätikön yläosista kielekkeen suuntaan. Maatutkamittauksin voidaan selvittää jäätikön paksuus ja sisäinen rakenne. Paksuus voidaan määrittää jopa kilometreissä, mutta sisäistä rakennetta voidaan tarkasti tutkia vain noin kahden sadan metrin syvyydeltä. Nämä mittaukset yhdessä tuot-

köiden todellisesta tilasta, eli kasvavatko jäätiköt vai kutistuvatko ne juuri tällä hetkellä. On tärkeää toistaa osa mittauksista joka vuosi, jotta voidaan selvittää jäätikön käyttäytymistä useiden vuosikymmenien ajalta. Vasta pitkän aikavälin tilastoista voidaan tulkita, miten jäätikkö on reagoinut muuttuvaan ilmastoon. Pienet jäätiköt, kuten Huippuvuorten jäätiköt, reagoivat nopeammin ilmastomuutoksiin kuin suuret napajääalueet.

Tutkimuskohteena ovat jäätiköt Hansbreen ja

vat Huippuvuorossa. Hansbreen 16 km pitkä ja joldbreen vuorotuosastaan vetä 10 km pitkä jäätiköt ovat p Huippuvuorten jäätikkötyyppiä. Tällainen jäätikkö on pääosin lämhellä sulamispiirivasta jäästä, m sulamisalueella van paksuinen k kerros. Tällainen jään kerros mu noastaan ablaatiomisalueella ei



Anja Pääli

Puolan tiedeakatemian tutkimusasema Hornsundissa. Takana vasemmalla näkyy Hansbreenin voimakkaasti raijottunut etuosa.

sautumisalueella ympäri vuoden jäätikköä suojaava lumipeite estää talven kylmän aallon tunkeutumisen pintakerroksia syvemmälle. Kesällä suojaava lumikerros sulaa osittain ja muuttuu vetiseksi sohjoksi. Syksyllä sohjoisessa lumikerroksessa oleva vesi jäätyy uudelleen, jolloin vapautuu lämpöä. Vapautunut lämpö määrä riittää estämään talven kylmän aallon tunkeutumisen pintakerroksia alemmas. Ablaatioalueella kaikki lumi sulaa kesällä ja niinpä syksyllä talven kylmä aalto pääsee tunkeutumaan syvälle jäähän.

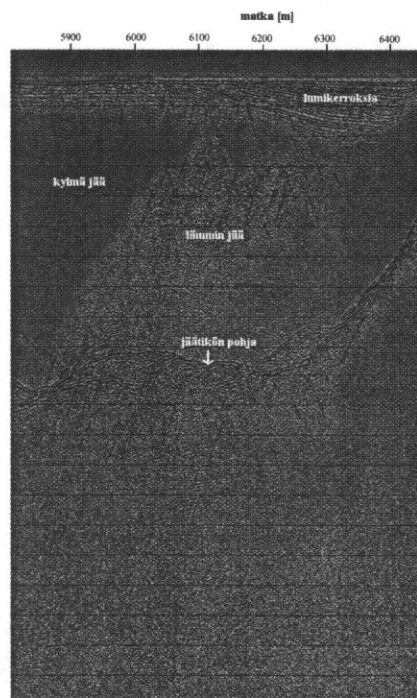
Maatutka ja paikkatietojärjestelmä työkaluina

Maatutka on osoittautunut erinomaiseksi työkaluksi jäätikkötutkimuksissa. Mittauslaitteisto koostuu lähetin- ja vastaanotinanteista, keskusyksiköstä ja tallettavasta yksiköstä, joka nykyisin on pieni kannettava tietokone. Tutkimuksissamme on käytetty Oulun yliopiston ja Thule Instituutin omistamaa Ramac (Måla Geoscience) maatutkaa. Varsinainen mittaussysteemi koostuu moottorikelkan perässä vedettävästä "katamaraanista", joka on rakennettu kahdesta muoviahkiosta, laudoista ja köysistä. Laidoilla ja köysillä sidotaan ahkiot rinnakkain pienen välimatkan päähän toisistaan kiinni. Kaikki metalliset osat on poistettu "katamaraanista". Maatutkan antennit kiinnitetään köysillä ja ilmastointiteipillä ahkiota yhdistäviin lautoihin. Antennit pyritään saamaan mahdollisimman lähelle lumen pintaa. Ahkioilla varmistetaan "katamaraanin" sujuva liikkuminen moottorikelkan perässä.

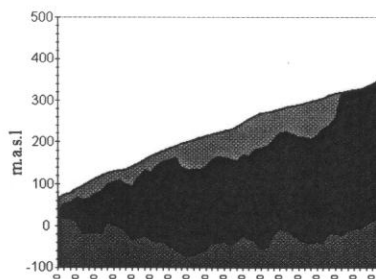
Itse mittaustapahtumassa maatutkalaitteen antenni lähettää lyhykestoisen sähkömagneettisen pulssin tutkittavaan väliaineeseen eli jäätikköön. Pulssien toistotaajuus si-

Maatutkakuva Hansbreenilta. Maatutkamittauksin voidaan selvittää jäätikön paksuus ja sisäinen rakenne sekä paikantaa suurimmat sulamisvesikanavat. Jäätikön pinta on kuvassa 0-tasossa. Kallionpintaheijaste näkyy jatkuvana punaisena rajapintana. Sininen väri kuvaa kylmää jäätä ja punaiset hyperbeliheijasteet ovat lämmitettyä jäätä. Yksittäinen hyperbeliheijaste kuvan oikeassa laidassa on sulamisvesikanava.

Maatutkakuva Hansbreenilta. Maatutkamittauksin voidaan selvittää jäätikön paksuus ja sisäinen rakenne sekä paikantaa suurimmat sulamisvesikanavat. Jäätikön pinta on kuvassa 0-tasossa. Kallionpintaheijaste näkyy jatkuvana punaisena rajapintana. Sininen väri kuvaa kylmää jäätä ja punaiset hyperbeliheijasteet ovat lämmitettyä jäätä. Yksittäinen hyperbeliheijaste kuvan oikeassa laidassa on sulamisvesikanava.



Hansbreenin pitkittäissuuntainen läpileikkaus. Kuvassa harmaa väri kuvaa kalliota, punainen väri lämmitettyä jäätä, vaaleansininen väri kylmää jäätä ja tumman sininen väri lumen ja ylivuorisen lumen (firn) kerroksia. M.a.s.l. = korkeutta meren pinnasta.





Mittaussysteemi koostuu moottorikelkan perässä vedettävästä "katamaraanista". Matkapyörällä mitataan kuljettu matka.

joittuu radioaaltoalueelle (1-1000 MHz, 1 MHz = $1 \cdot 10^6$ Hz). Mittauksissamme on käytetty 25, 50 ja 200 MHz:n taajuuksia antennia. Kun sähkömagneettinen pulssi kohtaa sähköisen rajapinnan (esim. lumi-jää, kylmä jää-lämmin-jää, jää-kallionpinta rajapinnat) osa aaltoenergiasta heijastuu osan jatkaessa etenemistään väliaineessa. Maatutkan vastaanottoantennilla mitataan heijastuneen aallon lähtöhetkestä paluuhetkeen kuluva aika ja voimakkuus. Vastaanottoantennilla tämä tieto kulkee valokuitukaapelia pitkin moottorikelkan kyydissä olevaan tutkan keskusyksikköön rekisteröitäväksi ja sieltä tietokoneen kovalevyille tallettavaksi. Tutkan liikkuessa tätä toistetaan nopeassa tahdissa ja muodostettavat signaalit tulostetaan maatutka-aineiston käsittelyyn suunnitellulla ohjelmalla tietokoneen kuvaruudulle. Kuvaruudulle muodostuu jatkuva profiili jäätikön sisäisistä sähköisistä rajapinnoista.

Mittausten paikantaminen tapahtuu GPS:llä (Global Positioning System). Lisäksi moottorikelkan perään on kiinnitetty matkapyörä, joka mittaa kuljetun matkan. GPS on kiinnitetty matkapyörän varteeseen. Käännyttäessä tai ohitettaessa maamerkki esim. paalu tai kivi, jonka sijainti tiedetään tarkasti, voidaan GPS:n paikkatiedostoon ja reaaliaikaisena tietokoneen ruudulle piirtyvään mittausaineistoon tehdä merkki, mikä auttaa mittauslinjojen sijoittamisessa paikkatietosisäistään. V-

reenilta ja Werenskjoldbreenilta kertyi 230 km. Kaikki mitatut linjat oli paalutettu ainakin osittain, paikannusvirheen arvioitiin olevan korkeintaan muutama kymmenen metriä.

Huippuvuorten erittäin nopeasti muuttuvat sääolosuhteet asettavat omat rajoitteensa tutkimuksille. Maa-

tutkimattauksia olemme tosin tehneet jopa -39°C pakkasessa laitteen vielä toimissa kohutuullisen hyvin, mutta mittajien sormien yrittäessä kieltäytyä yhteistyöstä. Yleensä parasta aikaa mittauksille on huhtikuu, jolloin lämpötila on usein 10-20 pakkasastetta eikä sul-

minen ole vielä alkanut. Yöttömän yön aurinko mahdollistaa työskentelyn siihen vuorokauden aikaan kuin se olosuhteiltaan on parasta.

Tavoitteena jäätikön käyttäytymisen ennustaminen

Tutkimuksissa on selvitetty maatutkamittauksin Hansbreenin ja Werenskjoldbreenin sekä niihin laskevien pienempien jäätikköjen paksuudet, kartoitettu jäätikköjen sisäisen kylmän ja lämpimän jääkerroksen väliset rajapinnat, sekä suurimmat sulamisvesikanavat. Lisäksi lukuisista yksittäisistä pistemäisistä heijasteista (ns. hyperbeliheijaste) on laskettu jäätikön lämpimän jääkerroksen ja suurien sulamisvesikanavien vesipitoisuusarvot.

lee jäätikön pitkittäis- ja suuntaisilla linjoilla paljon. On paksuimmillaan akkumuleerilla, jossa maatutka ei enää heijastetta kaikkialta kalleen. Hansbreenin ja Werenskjoldbreenin perusteella paksuimman kohdan on arvioitu noin 400 metriä paksu. Käytetty antenneilla päästiin parhaalla 370 metrin syvyyteen. Ohuella jäätikkö on etuosastaan, josta on vain 40 metriä paksu. Keskimääräinen paksuus on noin 300 metriä. Tyypillinen arvo Hansbreenin kokoisille jäätiköille Huippuvuorten Kylmän jääkerroksen paksuus on Hansbreenin pitkittäis-suunnassa noin 20 metristä 90 metriin. Ensimmäinen kerros oli ohuempi jäätikön kärkeen ja sekä alueilla, joissa jäätiköitä on raitoja. Kylmän ja lämpimän rajapinta oli syvemmällä, joissa Hansbreenille laskeutuvat jäätiköt yhtyivät Hansbreenin taan, sekä ympäröivien vuorokauden läheisyydessä.

Kylmän ja lämpimän jäätiköiden sijainti vaikuttaa jäätikön vesikanavien syntyyn ja sitä kautta jäätikön hydrologiaan. Hydrologian tuntemus on erittäin tärkeää, jotta jäätikön todellinen notila (kasvu tai kutistuminen) voidaan johtaneet syyt saadaan selville. Lumikerroksen paksuus vaihtelee 2,5 metristä 2,5 metriin. Mittauksien avulla on vertailtu kairanreikästä jään lämpötilamittauksista saatuja ja suurista sulamisvesikanavien vedenpinnankorkeuksista saatuja tulokset korreloivat hyvin mittausalustosten kanssa.

Tulevana tavoitteena on luoda kerätyn mittausaineiston pohjalta lyhyemmän jäätikön kokonaisuuden kuvaava malli, jonka avulla voidaan ennustamaan tällaisen jäätikön käyttäytyminen erilaisissa ilmastotilanteissa. Hansbreen on melko hyvä esimerkki Huippuvuorten jäätiköistä, joten mallia voitaisiin käyttää Huippuvuorten jäätiköihin laajasti. Erinomaiset tulokset on saatu jatkamaan mittauksia myös Huippuvuorilla ja talvella 2000-2001 mantereella.

Polytermisten jäätiköiden hydrologiaan liittyvä tutkimusprojekti Hornsundissa on Suomen Antarktis-tutkimuskeskuksen ja Thule-instituutin rahoittama ja suuri osa siitä tehdään uudessa Lumen ja jään tutkimuskeskuksessa. Tutkimusprojektilla on yhteistyökumppaneina useita tutkimuslaitoksia, muun muassa Tiedeakatemiaan lisäksi Norjan Polar In-