

Jäätikkötutkimuskurssi Tarfalassa

MATTI SEPPÄLÄ

Maantieteen laitos, Helsingin yliopisto

Helsingin yliopiston maantieteen laitos järjesti luonnonmaantieteen laudatur- ja jatko-opiskelijoille jäätikkötutkimuskurssin Tukholman yliopiston Tarfalan glasiologisella tutkimusasemalla 15.—27. 8. 1988. Kurssille osallistui opiskelijat Sakari Grönlund, Kari Kajuutti, Yrjö Kivinen, Anu Kovanen ja Jukka Käyhkö.

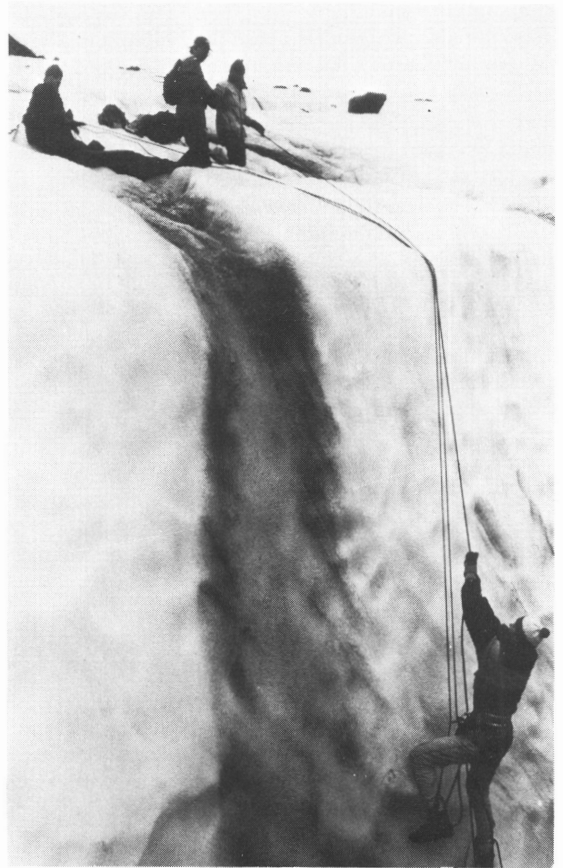
Kurssin tarkoituksena oli perehdyttää opiskelijat glasiologiseen kenttätutkimukseen, turvalliseen jäätiköllä liikkumiseen (kuvat 1 ja 2) ja jäätiköiden ominaisuuksiin. Jokaisella opiskelijalla oli oma erityisongelma selvittävänä. Työtä pohjustettiin keväällä pidetyllä seminaarilla, jolloin esitykset perustuivat kirjallisuuteen.

Tarfala valittiin kurssikohteeksi, koska sinne oli mahdollisuus päästä kohtuullisessa ajassa, kohtuullisin kustannuksin, paikalla oli glasiologiaan erikoistunut tutkimuskeskus ja saimme sieltä täysihoidon sekä suurimman osan tarvittavista varusteista käyttöömmme.

Tässä katsauksessa esitellään aluetta yleensä, aikaisempia tutkimuksia ja kurssitöiden taustaa. Sen jälkeen seuraa kunkin opiskelijan lyhyt raportti omasta kurssityöstään.

Alueen sijainti

Tarfalan laakso sijaitsee Kebnekaisen tunturialueen keskellä (67°54' N; — 67°57' 18"31' — 18°39' E) Pohjois-Ruotsissa (kuva 3). Kebnekaise



Kuva 2. Opiskelijat raihoonlaskeutumisharjoituksessa Isfallsglaciärenillä.



Kuva 1. Leveä raiho Isfallsglaciärenillä. Valokuvat kirjoittajan.

(2114 m mpy.) on Ruotsin korkein tunturi. Alue sijoittuu n. 1 000—2 100 m mpy. Tutkimusase-
man sijaintikorkeus on 1 130 m.

Alue on kokonaan metsänrajan yläpuolella (*re-
gio alpina*) ja ilmastoltaan arktinen. Laaksossa-
kin tavataan ikiroutaa runsaasti (King 1982;
1984).

Geologia ja geomorfologia

Alue kuuluu geologisesti kaledoniidien muodostamaan vuoristoon, samaan Köli-vuoristoon mihin suurin osa Norjaa kuuluu.

Tarfalan laakson pääkivilajit ovat amfiboliit-
teja. Metamorfisista kivistä dominoivia ovat kiil-
leliuskeet ja gneissit, jotka ovat helposti rapau-
tuvia muodostaen jyrkkien rinteiden juurelle kor-
keita taluksia. Suurimmat talukset ovat Storgla-
ciärenin eteläreunassa, Tarfalajauren molemmilla
puolilla sekä Tarfalapakten länsirinteessä (kuva
3).

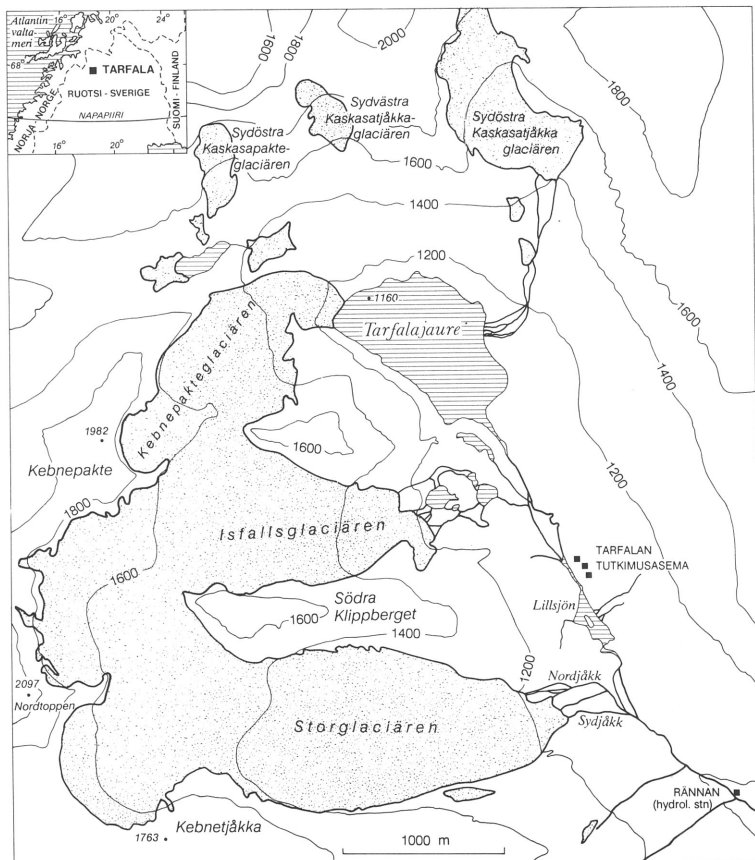
Jyrkkiä avokalliorinteitä on kaikkien jäätiköi-

den reunoilla, ja niiltä varisee runsaasti kiviai-
neista jäätiköiden kuljetettavaksi ja kasautumaan
sitten moreeneiksi. Tarfalapakten lakialue on
avokalliota.

Maalajeista tärkein on moreeni, joka paikoin
muodostaa korkeita reuna- ja päätmoreeneja.
Vanhat moreenit kuvastavat jäätiköiden aikai-
sempia reuna-asemia (kuvat 4 ja 5).

Kaikki jäätiköt laskevat laaksoon joko länsi-
tai pohjoisrinteestä. Laakson itärinteessä ei ole
jäätiköitä. Jäätiköiden yläosissa on onsiluille
luonteenomaisia jyrkkiä päätyseinämiä. Itse
laakso on tyypillinen ruuhilaakso, johon nykyi-
set jäätiköt ovat kuljettaneet mm. suuria lohka-
reita.

Tarfalan laaksosta itään tullaan vähäsaateisem-
malle alueelle, missä esiintyy runsaasti routail-
miöitä: kuviomaita, solifluktiokielekkeitä ja ki-
vivorvoja. Yleiskuvauksen alueen geomorfolo-
giaan tarjoaa geomorfologinen kartta 29I Keb-
nekaise 1 : 250 000 selitysteksteineen (Melander
1975).



Kuva 3. Tarfalan laakson jääti-
köt ja vesistöt. Korkeuskäyrien
väli 200 m. Nordtoppen on Keb-
nekaisen toiseksi korkein huippu
(2 097 m). Yleistetty Högfjällskar-
tan Kebnekaisesta.



Kuva 4. Storglaciären reunamo-
reeneinen. Kuvaussuunta lounaa-
seen, 25. 8. 1988.

Ilmasto

Lännessä Pohjois-Atlantilta tulevat syklonit sävyttävät Tarfalan laakson säätiloja. Ilmasto on mereinen. Jäätiköiden esiintyminen perustuu suureen sademäärään nimenomaan korkeimmalla tunturialueella. Laaksossa Tarfalan asemalla vuotuinen sademäärä on n. 950 mm. Vuoden keskilämpötila on asemalla noin -4°C (Schytt 1973). Vedenjakajan korkeimmilla kohdilla 2100 m korkeudessa vuoden keskilämpötila on arviolta -11°C . Heinäkuun keskilämpötila on laaksossa n. 7°C ja tammikuun n. -12°C . Vain harvoin Tarfalassa lämpötila laskee alle -30°C . Nikkaluoktassa (470 m mpy) n. 20 km päässä on

mitattu usein -40° — -50°C minimilämpötiloja.

Keskimääräinen tuulen nopeus on n. 4 m/s, mutta puuskissa on mitattu yli 50 m/s nopeuksia.

Lumipeite kattaa alueen n. 290 vrk/v 15. päivästä syyskuuta 1. päivään heinäkuuta (Hydrological data — Norden 1972: 288). Noin kahden kuukauden ajan (26. 6.—28. 8.) ilman keskilämpötila on yli $+5^{\circ}\text{C}$ (Hydrological data — Norden 1972: 288).

Kasvillisuus

Puuraja Tarfalan alueella sijaitsee n. 700 m korkeudessa, joten viimeiset puut sivuutetaan



Kuva 5. Isfallsglaciären. Etualalla korkea päätemoreeni. 25. 8. 1988.

Kuva 6. Storglaciärenin firn-alueen reunaan ja pintamoreenia. Kuvaussuunta länsi—lounas. Kebnekaisin huippu on pilven peitossa. 20. 8. 1988.



laakson suupuolella sinne noustaessa. Aseman alueella on tuskin ollenkaan pensaita. Laakson pohjalla kasvavista yleisistä kasvilajeista mainittakoon: *Ranunculus glacialis*, *R. nivalis*, *Dryas octopetala*, *Silene acaulis* ja *Saxifraga oppositifolia*. Jyrkillä rinteillä avoimilla kalliopinnoilla sekä rakkakivikoissa kasvillisuus on etupäässä jäkälä ja sammalia.

Enimmät kasvit kasvavat Tarfala-joen itäpuoleisella rinteellä lähellä laakson pohjaa 400—500 m leveänä nauhana. Aivan jäätiköiden reunan lähellä on täysin kasvittomia juuri jäästä vapautuneita moreenipintoja.

Jäätiköt

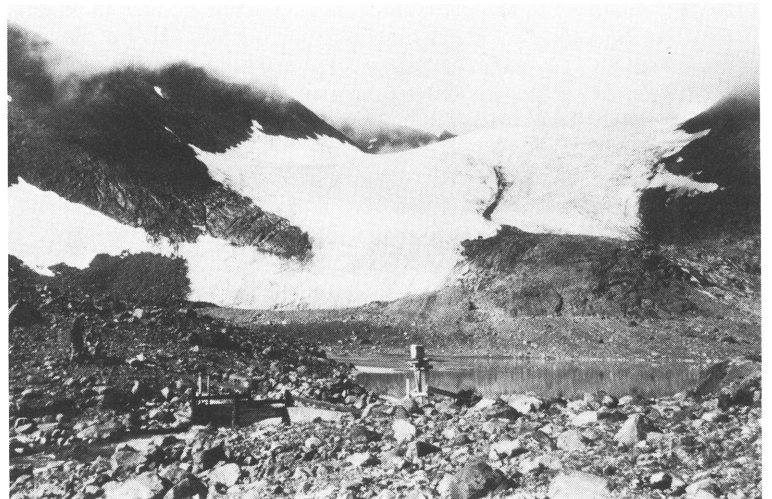
Ruotsin tuntureilla jäätiköt sijaitsevat pääasiassa harjanteiden itä- ja koillisrinteillä eli tuu-

liin nähden suojan puolella (Schytt 1959). Tuulen merkitys lumen kinostajana on ilmeinen.

Kebnekaisien topografikartan lehdellä 1 : 200 000 on kaikkiaan laskettu 53 jäätikköä yhteispinta-alaltaan 48 km² (Schytt 1959: 214). Jäätiköistä noin puolet on pinta-alaltaan alle 0,5 km².

Tarfalan laakson jäätiköistä kolme — Storglaciären, Isfallsglaciären ja Kebnepakteglaciären — sijaitsevat Kebnekaise-harjanteen itäpuolella (kuva 1). Eteläisin on Storglaciären (kuvat 4 ja 6), joka on pinta-alaltaan nykyään vajaa 3 km² ja sen firn-alue sijaitsee 1 500—1 650 m mpy. Reuna on n. 1 150 m korkeudella.

Isfallsglaciären (kuvat 5 ja 7) on pinta-alaltaan vajaa 1,5 km². Sen pinta on voimakkaasti raijoutunut ja se on jyrkempi kuin Storglaciären. 1 400—1 500 m korkeudelle siihen on muodos-



Kuva 7. Isfallsglaciären. Etualalla limnigrafi ja mittapato. 19. 8. 1988.

tunut jäätikköputous.

Pohjoisin, pienin (n. 0,9 km²) ja jyrkin näistä kolmesta on Kebnepakteglaciären. Sen firn on 1 600 m korkeudessa ja se laskee Tarfala-järveen 1 160 m korkeudella. Kallioharjanne jakaa jäätikön kielekkeen pituussuunnassa kahtia.

Neljäntenä jäätikkönä Tarfalan laaksoon virtaa pohjoisesta Sydöstra Kaskasatjäkkogglaciären, jolla on pinta-alaa vain n. 0,5 km². Sen firn alue on yli 1 600 m korkeudessa ja jäätikön kielekkeen reuna jää ainakin 250 metriä ylemmäksi kuin edellä mainittujen jäätiköiden.

Tarfala-järven pohjoispuolella on vielä pari pientä jäätikköä: Sydöstra Kaskasapakteglaciären ja Sydvästra Kaskasatjäkkogglaciären. Edellinen sijaitsee 1 500—1 850 m ja jälkimmäinen 1 550—1 850 m korkeudella. Sääntönä näyttää olevan, että mitä pienempi jäätikkö sen korkeammalla on sen alareuna. Viimeksi mainitut tuskin virtaavat juuri ollenkaan. Kaikki mainitut jäätiköt saavat alkunsa onsilosta tai täyttävät osaksi onsilon, joka kerää lumen.

Aikaisemmista tutkimuksista ja kurssilla käsitellyistä aihepiireistä

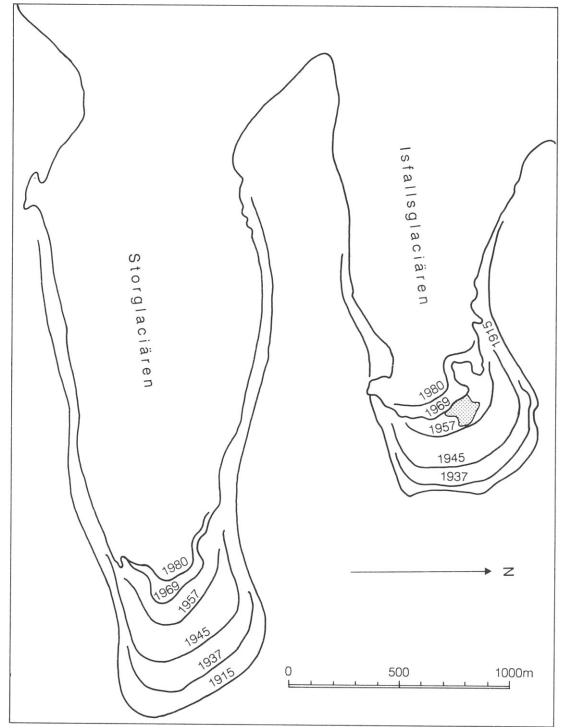
Kebnekaisen alueella on hyvät mahdollisuudet monipuoliseen jäätikkötutkimukseen ja niinpä alueelta on ilahduttavan runsaasti monipuolista julkaistua aineistoa olemassa.

Jäätiköt ovat mitä tyypillisin klimamorfologinen ilmiö. Jäätiköissä tapahtuvat muutokset ilmentävät ilmastonmuutoksia ja ne jättävät omat tulkittavissa olevat merkkinsä maan pinnalle.

Jäätiköiden reuna-asemien muutokset ovat tässä mielessä kiinnostaneet tutkijoita myös Tarfalassa. Ruotsin jäätiköiden reunamoreeneja ajoittamalla on havaittu neljä etenemisvaihetta varsinaisen jääkauden jälkeen (Denton & Karlén 1973). Ne on ajoitettu lichenometriaa ja radiohiilimenetelmää käyttäen. Nuorin vaihe, jota kutsutaan pieneksi jääkaudeksi, muodostui useammasta etenemisjaksosta, joiden aiheuttamat moreenit jäkälöityivät vuosina 1910—20, 1880—1890, 1800—1810, 1850—60, 1780, 1700—1720 ja noin 1650 (Karlén 1982).

Toiseksi nuorin reunamoreenivaihe ajoittuu 2 370—2 720 vuotta vanhaksi. Kaksi vanhempaa reunamoreeneja muodostanutta vaihetta ovat iältään n. 5 000 ja 8 000 vuotta.

Storglaciärenin reuna on vetäytynyt vuodesta 1910 alkaen n. 500 metriä (Holmlund 1987: 446). Vetäytyminen on ollut jatkuvaa (kuva 8) huolimatta muutamista vuosista (1949, 1962, 1964, 1965, 1976, 1977, 1982 ja 1983), jolloin mitattiin jonkin verran positiivisia *massabalansseja* ts.



Kuva 8. Storglaciärenin ja Isfallsglaciärenin reuna-asetilat eri vuosilta (1915—1980) ilmakuviin ja karttojen perusteella yhteen piirrettyinä.

nettoakkumulaatio on suurempi kuin nettoablaatio. Nämä vuodet eivät kuitenkaan ole riittäneet korvaamaan muina vuosina todettuja selvästi suurempia massan nettohäviöitä (Holmlund 1987: fig. 6).

Vuodesta 1946 alkaen on jatkuvasti mitattu Storglaciärenin lumen akkumulaatiota ja ablaatiota massabalanssin selvittämiseksi (Schytt 1959; Holmlund 1987). Anu Kovanen tekee jäljempänä selkoa näistä mittauksista.

Lumirajan sijainti on aivan ratkaiseva jäätikön laajuudelle ja siihen taas vaikuttavat lämpötilat ja lumisateen määrä. Jäätiköitymisraja on Kebnekaisen alueella 1 600—1 700 m korkeudella (Østrem 1964). Onsilojäätiköiden muodostuminen kuvastaa tuon rajan korkeutta (Vilborg 1977; 1985).

Puurajassa tapahtuneet muutokset ilmentävät elollisen luonnon reaktioita ilmaston muutoksiin. Puurajan muutoksia on korreloitu jäätiköissä tapahtuneisiin muutoksiin (Karlén 1976). Karlén on löytänyt runsaasti männyn runkoja nykyisen puurajan ylä- ja pohjoispuolelta. Nämä kertovat lämpimämmästä ja metsän kasvulle yleensä edullisemmista olosuhteista, joita on ollut radiohii-

liajoitusten perusteella 8550, 8000, 6000, 4500—5200, 3300, 2700, 1350—1600 ja 800—1000 vuotta sitten (Karlén 1976: 26).

Järviin tapahtuneen sedimentaation tutkiminen antaa sekin tietoja jäätiköissä tapahtuneista muutoksista. Karlén (1976; 1982) on tutkimustensa perusteella päättänyt, että erityisen voimakkaita jäätikön laajenemisia olisi tapahtunut 7500—7300, 4500 ja 2800 B.P.

Monipuolisten paleoklimaattisten selvitysten pohjalta Karlén (1976: 28—31) jaottelee holoseeni-ajan pohjois-Ruotsissa seuraavasti:

- I Lämmin kausi 8600—7500 B.P.
- II Kylmä kausi 7500—7300 B.P.
- III Lämmin kausi 7300—4500 B.P.
- IV Ilmaston viileneminen 4500 B.P. alkaen
- V Subboreaalin/subatlanttinen kylmäkausi n. 2500 B.P.
- VI Lämmin ilmastovaihe 1600—800 B.P.
- VII Pieni jääkausi 1500 A.D. alkaen.

Jäätikön virtausnopeus on selvitettävissä toistuvilla mittauksilla. Aihetta Storglaciärenillä ovat tutkineet ainakin Brzozowski & Hooke (1981) sekä Hooke et al (1983). Mittausten mukaan Storglaciärenin reunan lähellä jäätikön pinnan liikenopeus oli vuosina 1979—81 noin 13 mm/vrk ja 800 m reunasta noin 40 mm/vrk. Nopeinta virtaus oli loppukesällä ja alkusyksystä ja maksimiarvot mitattiin muutamia kuukausia sulamishuipun jälkeen. Vuodenaikaisiin nopeuden muutoksiin vaikuttaa vapaan veden määrä.

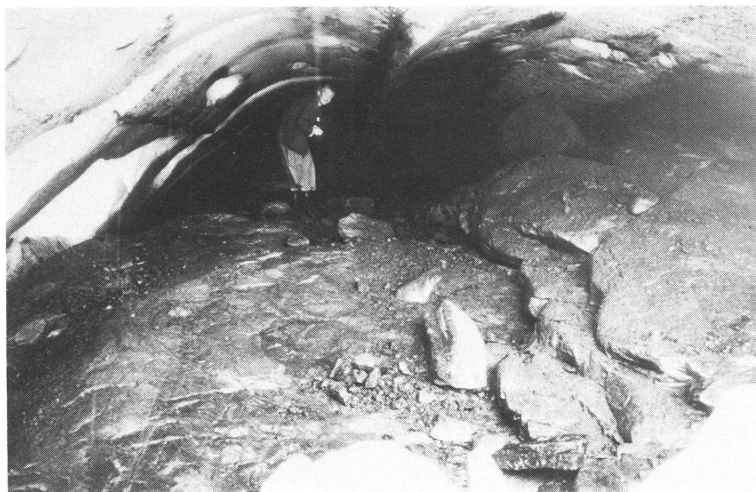
Sulavesien kulkureitit ja kulkunopeus jäätikön läpi ovat geomorfologian kannalta tärkeitä tutkimusongelmia, joihin perehdyttiin erityisesti

Stenborgin (1968; 1969) ja Holmlundin (1988) tutkimusten pohjalta. Stenborg (1965) havaitsi, että talvivalunta ja kesävalunta Storglaciäreniltä tapahtui eri reittejä pitkin. Tästä hän päätteli, että uomilla oli omat, erilliset vesilähteensä jäätikön sisällä. Holmlund (1988b) teki suoria havaintoja jäätikkökaivoista tunkeutumalla niihin talviaikana. Kesäaikana ei vastaavaan suoraan havainnointiin ole mahdollisuuksia. Jäätikön alle pääsimme katsomaan kallioesteiden yli liikkuneen Isfallsglaciärenin reunassa, minne oli muodostunut jääluola (kuva 9).

Jääsydämiset moreenit (ice-cored moraines), joissa on ikiroutaa, ovat tyypillisiä ilmiöitä Kebnekaisan alueella. Østrem (1964; 1965) on tutkinut niitä juuri tällä alueella, ja hänen tutkimuksensa herättivät yleisen mielenkiinnon tähän asiaan.

Tukholman yliopiston luonnonmaantieteen laitos julkaisee vuosittain Tarfalan tutkimusasetaman tutkimusaktiviteetista katsauksen (esim. Annual Report 1987; 1988), josta selviää, että tätä nykyään tutkimus kohdistuu nimenomaan vuoristometeorologiaan, jäätiköiden massabalanssin mittaamiseen, glasiaalidynamiikkaan, lumen sulamismekanismien selvittelyyn sekä lumen kertymään.

Kiitokset: Oleellisesti kurssin onnistumiseen vaikutti Tukholman yliopiston luonnonmaantieteen laitoksen myönteinen suhtautuminen hankkeeseemme. Tunsimme olevamme tervetulleita Tarfalan tutkimusasemalle. Tästä kiitos erityisesti professori Wibjörn Karlénille ja aseman henkilökunnalle. Helsingin yliopiston taloudellinen tuki teki matkan mahdolliseksi.



Kuva 9. Isfallsglaciärenin reunan alle johtava jääluola. Katossa jääharjanne ja katosta tippuu vettä (vaaleat juovat). 19. 8. 1988.

KIRJALLISUUS

- Annual Report 1987 Tarfala Research Station*. Stockholms Universitet, Naturgeografiska Institutionen, Rapport från Tarfala. 1—103.
- Annual Report 1988 Tarfala Research Station*. Stockholms Universitet, Naturgeografiska Institutionen, Rapport från Tarfala. 1—85.
- Brzozowski, Jerzy & Hooke, Roger LeB (1981). Seasonal variations in surface velocity of the lower part of Storglaciären, Sweden. *Geografiska Annaler* 63A, 233—240.
- Denton, G.H. & Karlén, W. (1973). Holocene climatic variations — their pattern and possible cause. *Quaternary Research* 3, 155—205.
- Holmlund, Per (1987). Mass balance of Storglaciären during the 20th century. *Geografiska Annaler* 69A, 439—447.
- Holmlund, Per (1988a). An application of two theoretical melt water drainage models on Storglaciären and Mikkaglaciären, northern Sweden. *Geografiska Annaler* 70A, 1—7.
- Holmlund, Per (1988b). Internal geometry and evolution of moulins, Storglaciären, Sweden. *Journal of Glaciology* 34, 242—248.
- Hooke, Roger LeB; Brzozowski, Jerzy & Bronge, Christian (1983). Seasonal variations in surface velocity, Storglaciären, Sweden. *Geografiska Annaler* 65A, 263—277.
- Hydrological data — Norden representative basins* (1972). Ed. Malin Falkenmark. National Committees for the International Hydrological Decade in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden. 1—293. Vilco Trykkeri, Oslo.
- Karlén, Wibjörn (1973). Holocene glacier and climatic variations, Kebnekaise mountains, Swedish Lapland. *Geografiska Annaler* 55A, 29—63.
- Karlén, Wibjörn (1976). Lacustrine sediments and tree-limit variations as indicators of Holocene climatic fluctuations in Lapland: northern Sweden. *Geografiska Annaler* 58A, 1—34.
- Karlén, Wibjörn (1979). Deglaciation dates from northern Swedish Lapland. *Geografiska Annaler* 61A, 203—210.
- Karlén, Wibjörn (1982). Holocene glacier fluctuations in Scandinavia. *Striae* 18, 26—34.
- King, Lorenz (1982). Qualitative and quantitative Erfassung von Permafrost in Tarfala (Schwedisch—Lappland) und Jotunheimen (Norwegen) mit Hilfe geoelektrischer Sondierungen. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement-Band* 43, 139—160.
- King, Lorenz (1984). Permafrost in Skandinavien. Untersuchungsergebnisse aus Lappland, Jotunheimen und Dovre/Rondane. *Heidelberger Geographische Arbeiten* 76, 1—174.
- Melander, Olle (1975). Geomorfologiska kartbladet 29 I Kebnekaise — Beskrivning och naturvärdebedömning. *Statens Naturvårdsverk* PM 540, 1—78.
- Schytt, Valter (1959). The glaciers of the Kebnekajse-massif. *Geografiska Annaler* 41, 213—227.
- Schytt, Valter (1965). Notes on glaciological activities in Kebnekaise, Sweden during 1964. *Meddelanden från Geografiska Institutionen vid Stockholms Universitet* 168, 65—71.
- Schytt, Valter (1973). Hydrologisk aktivitet inom undersökningsområdet Tarfala. *Vannet i Norden* 1, 12—29.
- Stenborg, Thorsten (1965). Problems concerning winter run-off from glaciers. *Geografiska Annaler* 47A, 141—184.
- Stenborg, Thorsten (1968). Glacier drainage connected with ice structures. *Geografiska Annaler* 50A, 25—53.
- Stenborg, Thorsten (1969). Studies of the internal drainage of glaciers. *Geografiska Annaler* 51A, 13—41.
- Stenborg, Thorsten (1970). Delay of run-off from a glacier basin. *Geografiska Annaler* 52A, 1—30.
- Vilborg, Lennart (1977). The cirque forms of Swedish Lapland. *Geografiska Annaler* 59A, 89—150.
- Vilborg, Lennart (1985). Nischformer i norra och mellersta Sverige. *Meddelanden från Naturgeografiska Institutionen vid Stockholms Universitet* A172.
- Østrem, Gunnar (1964). Ice-cored moraines in Scandinavia. *Geografiska Annaler* 46, 282—337.
- Østrem, Gunnar (1965). Problems of dating ice-cored moraines. *Geografiska Annaler* 47A, 1—12.