



TOIMITTANUT

Heikki Nevanlinna

# SODANKYLÄN GEOFYSIIKAN OBSERVATORIO 1913–2013

– sata vuotta havaintoja ja tutkimusta

© 2016 Heikki Nevanlinna ja  
Sodankylän geofysiikan observatorio

**Toimittaja**

Heikki Nevanlinna (Ilmatieteen laitos)

**Graafinen suunnittelu & taitto**

Minna Etsalo

**Etukannen kuva**

Jyrki Manninen (Sodankylän geofysiikan observatorio)  
Aska, Sodankylä

**Takakannen kuva**

Sodankylän geofysiikan observatorion päärakennus 1930-luvulla  
(Ilmatieteen laitos)

**Painopaikka**

Suomen yliopistopaino Oy  
Oulu 2016

Sodankylä Geophysical Observatory Publications No. 112

ISSN 1456-3673  
ISBN 978-952-62-1307-1 (painettu)  
978-952-62-1308-8 (PDF)



## Sisällysluettelo

<b>Johdanto</b> .....	8	Keräsen jalanjäljillä Lapin magneettisissa mittauksissa .....	38
<b>1. HISTORIAN VAIHEITA</b> .....	12	Matka kohtia Lappia alkaa.....	40
<i>Heikki Nevanlinna</i>		Lapin magneettiset mittaukset jatkuvat .....	42
Geomagneettinen observatorio .....	14	<b>1.1 Oulun yliopiston yhteyteen</b> .....	45
Observatoriot tulevat Suomeen .....	15	<i>Jorma Kangas</i>	
Kansainvälinen polaarivuosi 1882–1883		Työryhmät etsivät uutta isäntää .....	45
ja Sodankylän observatorio .....	16	Uuteen organisaatioon siirtyminen .....	48
Uusi observatorio Sodankylään.....	23	Miten observatorion toiminta muuttui?.....	50
Jaakko Keränen Sodankylän observatorion johtajaksi.....	25	Epilogi .....	53
<b>TIETOLAATIKKO L1:</b> Jaakko Keränen – Sodankylän observatorion ensimmäinen johtaja.....	28	<b>1.2 Sodankylän geofysiikan observatorio tänään</b> .....	55
<b>TIETOLAATIKKO L2:</b> Tähtelän kohtalonvuodet Suomen kansalaissodan aikana .....	30	<i>Esa Turunen ja Jyrki Manninen</i>	
<b>TIETOLAATIKKO L3:</b> Eyvind Sucksdorff – Sodankylän observatorion johtaja .....	32	SGO:n profiili ja tavoite.....	55
Sodankylän observatorio toisen maailmansodan jälkeen .....	34	SGO:n painoalat.....	56
<b>TIETOLAATIKKO L4:</b> Eero Kataja – Sodankylän observatorion johtaja 1950–1992 .....	36	SGO:n painoaloja tukevia muita mittauksia....	59
Kansainvälinen geofysiikan vuosi (IGY) 1957–1958 .....	37	SGO:n ylläpitämät vieraslaitteet .....	61
		Pysyvien mittaustehtävien periaatteet .....	62
		Observatorion yksiköt.....	62

Tutkimus- ja kehitystyö .....	63	Stipendiaattina Saksassa .....	91
Rahoitus .....	63	Ionosfäärimittaukset alkavat .....	92
		Toiminnan jatkamista suunnitellaan .....	97
<b>2. OBSERVATORION TOIMINTOJEN KEHITTÄMINEN</b> .....	66	Ionosfääriasema vakinaistetaan.....	100
		Uusi asemarakennus valmistuu.....	100
<b>2.1 Magneettiset mittaukset Sodankylässä</b> .....	69	Väitöksiä ja tutkimustyötä .....	102
<i>Tero Raita ja Heikki Nevanlinna</i>		Uusia asuntoja Tähtelään.....	104
Johdanto .....	69	Uusia mittauksia .....	104
Sodankylän magneettisen observatorion alkutaival .....	70	Opettajaksi Oulun yliopistoon .....	107
Sodankylän observatorion magneettiset mittaukset kehittyvät .....	73	<b>2.4 Radioastronomiia Tähtelässä</b> .....	109
Uusia havaintolaitteita .....	76	<i>Jubani Oksman</i>	
<b>TIETOLAATIKKO L5:</b> Tähtelän tuho Lapin sodassa 1944 .....	77	<b>2.5 Kevon satelliittiasema ja Tähtelä</b> .....	112
Lopuksi.....	82	<i>Jubani Oksman</i>	
<b>2.2 Revontulihavainnot Sodankylässä</b> .....	83	<b>2.6 Sodankylän geofysiikan observatorion ionosfääriluotaukset 1960-luvun jälkeen</b> .....	116
<i>Jyrki Manninen ja Heikki Nevanlinna</i>		<i>Tauno Turunen</i>	
Visuaaliset revontulihavainnot.....	83	<b>2.7 Sirontatutka Tähtelään</b> .....	122
Revontulikamerat havainnoissa .....	84	<i>Jubani Oksman</i>	
Revontulikuvaukset kansainvälisen geofysiikan vuoden aikana 1957–1958.....	85	EISCAT:in alkuaikojen hallinto .....	124
Uudemmat mittaukset.....	85	EISCAT:in toteuttaminen.....	124
<b>2.3 Tähtelän ionosfääriasema</b> .....	88	EISCAT:in Suomen henkilökunta .....	125
<i>Jubani Oksman</i>		<b>2.8 Mikropulsaatiotutkimuksen vaiheita</b> .....	128
Ionosfääri ja sen mittaukset .....	88	<i>Jorma Kangas ja Tero Raita</i>	
Tähtelä saa ionosondin .....	89	Mikropulsaatiotutkimuksen alkuvaiheet ....	128
		Mittaustoiminnan myöhempi kehitys.....	129
		Tutkimusyhteistyö .....	131

<b>2.9 Seismiset havainnot Sodankylässä ja Oulussa</b> ..... 134 <i>Elena Kozlovskaya ja Eero Kataja</i>	Uusi ionosfääriluotain..... 157	<b>3. YHTEISTYÖTAHOJA</b> ..... 184	<b>3.5 Observatorion yhteiskunnallinen merkitys – alueelliset ja kansalliset ulottuvuudet</b> ..... 214 <i>Jyrki Manninen</i>
Mittauksien alkuvaiheet ..... 134	Mittausprojekteja ..... 158	<b>3.1 Kaksi observatoriota Tähtelässä</b> ..... 186 <i>Esko Kyrö</i>	Yhteistyö Sodankylän kunnan kanssa..... 214
Ydinräjäytysten aika – seisminen asema vakinaistetaan ..... 135	Rekisteröinti- ja ajoituslaitteiden kehitys ..... 158	Yhteistyökuvioita ..... 187	Innovaatiokeskusta suunnittelemaan ..... 215
Paikalliset maanjäristykset..... 137	Tietojenkäsittely ja tiedonsiirto..... 160	<b>3.2 Meteorologinen observatorio Ilma-Tähtelä – Lapin ilmatieteellinen tutkimuskeskus</b> ..... 191 <i>Eero Kataja</i>	CAGI:lle strategia ja toimenpideohjelma..... 217
Uusi asema Pittiövaaraan ..... 137	Yhteenveto ..... 161	<b>3.3 Sodankylän geofysiikan observatorio mukana viemässä Suomea avaruuteen</b> ..... 195 <i>Risto Pellinen</i>	<b>Lopuksi</b> ..... 218 <i>Heikki Nevanlinna</i>
Seismologia Oulun yliopistossa ja Sodankylän observatorion Oulun yksikössä ..... 138	<b>2.12 VLF-mittaukset Tähtelässä</b> ..... 162 <i>Jyrki Manninen ja Tauno Turunen</i>	Johdanto ..... 195	Observatorion pitkät havaintosarjat ovat arvokkaita ..... 219
Seismiset havainnot Sodankylän geofysiikan observatoriossa 2000-luvulla ..... 138	<b>TIETOLAATIKKO L6: VLF-aallot</b> ..... 163	Observatoriopäivät tutkimustoiminnan katalysaattorina 1970- ja 1980-luvuilla ..... 196	<b>Liitteet</b> ..... 222 <i>Jyrki Manninen, Tero Raita ja Pirrko Kaukonen</i>
Osallistuminen havainto- ja tietopalveluihin (EPOS)..... 139	<b>2.13 Avaruussäteilyn mittauslaitteita Lapin taivaalla</b> ..... 168 <i>Pekka Tanskanen ja Jorma Kangas</i>	Kansainvälisten yhteistyöhankkeiden käynnistyminen 1970- ja 1980-luvuilla ..... 198	LIITE 1. Sodankylän geofysiikan observatorion toimintaan myönnetty vuotuinen perusrahoitus 1913–2013 ..... 224
Litosfääritutkimus Oulun yliopistossa ..... 140	Johdanto ..... 168	Satelliittivastaanotinhankeet..... 201	LIITE 2. Sodankylän geofysiikan observatorion johtajat 1913– ..... 226
Lopuksi..... 142	Tutkimuksen kohteet ja SPARMO:n rooli..... 172	Revontulikamera- ja magnetometriverkko MIRACLE..... 203	LIITE 3. Sodankylän geofysiikan observatorion johto 1913– ..... 227
<b>2.10 Tähtitiedettä Tähtelässä</b> ..... 144 <i>Johannes Kultima</i>	Mittauskampanjoiden järjestelyt..... 173	Rakettikokeilla magnetosfäärin nielua (cusp) tutkimassa..... 205	LIITE 4. Sodankylän geofysiikan observatorion henkilökunta Tähtelässä 1913– ..... 228
Napavariaatio ja sen mittaaminen..... 146	Tutkimusyhteistyö ..... 177	Periquito 1975..... 205	LIITE 5. Sodankylän geofysiikan observatorion tutkijoiden kansainvälisten julkaisujen lukumäärä..... 233
Sodankylän tähtitieteellinen observatorio ja sen toiminta vuosina 1973–1988 ..... 148	Loppusanat ..... 179	Dayside Cusp -mittaukset vuonna 1988 ..... 206	LIITE 6. Tietoja kirjoittajista ..... 235
<b>2.11 Observatorion tekninen yksikkö</b> ..... 152 <i>Aarne Ranta</i>	<b>2.14 Kosminen säteily</b> ..... 180 <i>Pekka Tanskanen ja Ilya Usoskin</i>	Loppusanat ..... 207	<b>Lähdeviitteet</b> ..... 241
Johdanto ..... 152	Johdanto ..... 180	<b>3.4 Sodankylän geofysiikan observatorio tiedelaitoksena ja yhteiskunnallisena vaikuttajana</b> ..... 208 <i>Lauri Lajunen</i>	<b>Henkilöhakemisto</b> ..... 248
Observatorion tekniikka alkuvuosikymmeninä..... 153	Avaruussäteilyn kova komponentti – mesoniteleskooppi..... 180		
Observatorion tekniikka IGY:n jälkeen ..... 153	Avaruussäteilyn nukleonikomponentti – neutronimonitori ..... 181		
Observatorioon perustetaan tekninen yksikkö ..... 155	Loppulause ..... 183		
Sivuasema Pittiövaaraan ..... 156			



## Johdanto

Oulun yliopiston Sodankylän geofysiikan observatorio siirtyi toimintansa toiselle vuosisadalle vuonna 2013. Merkkipäiväksi on valittu 1.9., koska sinä päivänä sata vuotta aikaisemmin vuonna 1913 observatorion vastavalmistuneet rakennukset otettiin käyttöön. Observatorio oli perustettu Suomalaisen Tiedeakatemian hallinnon alaisuuteen, jonka asettama observatoriotoimikunta antoi sille toiminnalliset tavoitteet ja sisällön sekä johti observatoriota käytännön tehtävissä ja taloudenpidossa aina 1990-luvulle saakka. Toimikunnan puheenjohtaja ja Meteorologisen keskuslaitoksen johtaja prof. Gustaf Melander<sup>1</sup> (1860–1938) oli observatoriahankkeen aloitteentekijä ja keskeinen vaikuttaja observatorion tehtävissä seuraavien yli 20 vuoden ajan. Melanderia voidaan hyvällä syyllä pitää Sodankylän observatorion perustajana. Tosin hän ei ajanut uutta observatoriota johtamaansa Suomen Tiedeseuran<sup>2</sup> Meteorologiseen keskuslaitokseen, vaan vastaperustetun (1908) Suomalaisen Tiedeakatemian alaisuuteen, jonka keskeisiä johtohahmoja Melander myös oli. Melanderin tavoitteena oli, että hänen johtamansa laitokset vapautuisivat Tiedeseuran holhouksesta kuten Meteorologisen keskuslaitoksen osalta tapahtuikin joitain vuosia myöhemmin.

Varsinaiset säännölliset mittaukset ja rekisteröinnit alkoivat Sodankylässä 1.1.1914. Observatorion ensisijainen tehtävä oli geomagneettisten vaihtelujen jatkuvat rekisteröinnit ja niihin liittyvät mittaukset. Siksi laitosta kutsuttiin aluksi nimellä "Magneettinen observatorio". Geomagneettisia mittauksia tarvittiin Suomen alueen magneettisen kartoituksen tueksi. Työ oli käynnistetty vuonna 1910 Meteorologisen keskuslaitoksen hankkeena.

<sup>1</sup> Gustaf Melander oli Meteorologisen keskuslaitoksen (nykyisin Ilmatieteen laitos) johtaja 1907–1930. Melander valittiin Suomalaisen Tiedeakatemian jäseneksi vuonna 1908, Akatemian perustamisvuonna.

<sup>2</sup> Suomen Tiedeseura on maamme vanhin yleistieteellinen seura. Se perustettiin vuonna 1838, samana vuonna kuin Ilmatieteen laitoksen edeltäjä Helsingin yliopiston Magneettinen observatorio (Nevanlinna, 2009b).

Aivan alusta lähtien Sodankylän observatorion toinen tärkeä tehtäväkokonaisuus muodostui päivittäisistä meteorologisista havainnoista osana Meteorologisen keskuslaitoksen valtakunnallista havaintoverkkoa. Laajemmin geofysikaaliset havainnot otettiin observatorion ohjelmaan myöhemmin 1930-luvulla, jolloin säännöllisiä mittauksia ja havaintoja tehtiin seitsemästä eri geofysikaalisesta kohteesta. Toiseen maailmansotaan mennessä Sodankylän observatorio oli kehittynyt magneettisesta ja meteorologisesta havaintoasemasta todelliseksi geofysiikan observatorioksi.

Toimintansa alkuvaiheessa Sodankylän observatorio oli maailman pohjoisin magneettinen observatorio ja ainoa pohjoisen napapiirin sisäpuolinen havaintoasema. Henkilökunnan määrä oli pieni: johtaja, assistentti ja vahtimestari. Ensimmäinen johtaja oli Jaakko Keränen (1883–1979) vuosina 1913–1917. Johtajan assistenttina työskenteli Jaakko Keränen puoliso Siiri Keränen (1889–1968).

Toisen maailmansodan loppuvaiheissa Sodankylän observatoriota kohtasi täydellinen tuho vuonna 1944, kun saksalaiset joukot polttivat kaikki laitoksen rakennukset ja suurimman osan havaintolaitteista. Suomalainen Tiedeakatemia jälleenrakennutti observatorion kuitenkin varsin lyhyessä ajassa valtiovallan taloudellisen tuen turvin. Samalla observatorion toiminnot jaettiin uudelleen siten, että ilmatieteelliset havainnot tulivat Ilmatieteellisen keskuslaitoksen uuteen aerologiseen observatorioon<sup>3</sup> ja muut geofysikaaliset havainnot jäivät Suomalaisen Tiedeakatemian toimialueelle.

Sodankylän geofysiikan observatorion kehitys sodanjälkeisten vuosien aikana oli nopea. Merkittävä kulminaatio tässä toiminnallisessa kasvussa oli observatorion ionosfäärimittausten alku, mikä tapahtui yhteistyössä saksalaisen Max Planck -instituutin kanssa. Ionosfääritutkimus nosti observatorion merkittäväksi alan kansainväliseksi toimijaksi. Myöhemmin ionosfäärimitaukset ovat laajentuneet ja monipuolistuneet maapallon lähiavaruuden tutkimuksiin, kun Sodankylän observatorioon rakennettiin kansainvälisen EISCAT-järjestön organisoimiin ionosfäärimittauksiin tarkoitettu tutka-asema. Monet Sodankylän geofysiikan observatorion tutkijoista ovat työskennelleet EISCAT-järjestössä aina sen johtotehtäviin asti. Ionosfääritutkien rakentaminen ja tutkasignaalien teorian kehittelytyö on vienyt Sodankylän geofysiikan observatorion alan kansainvälisen tiedeyhteisön huipulle saakka. Nykyisin observatoriolla on mittaustaitteita noin 20 eri paikkakunnalla Suomessa ja ulkomailla. Observatorion mittaustoiminta on osa Suomen kansallisista velvoitteista alan maailmanlaajuisessa tutkimuksessa. Henkilökunnan määrä on noin 40.

Merkittävin organisatorinen muutos Sodankylän geofysiikan historiassa tapahtui vuonna 1997, kun observatorio liitettiin osaksi Oulun yliopistoa valtakunnallisena erillislaitoksena. Näin Suomalainen Tiedeakatemia luopui ainoasta tutkimuslaitoksestaan. Ratkaisu paransi observato-

<sup>3</sup> Nykyisin Ilmatieteen laitoksen Lapin ilmatieteellinen tutkimuskeskus.

rion aikaisemmin epävakaata taloudellista asemaa ja henkilökunnan oikeudellinen asema selkiytyi. Oulun yliopistossa toimii Sodankylän observatorion osana erillinen yksikkö, johon kuuluu muun muassa yliopiston seismologinen tutkimus sekä kosmisen säteilyn havaintoasema.

Sadassa vuodessa Sodankylän observatorio on kehittynyt pienestä muutaman henkilön havaintoasemasta monipuoliseksi geofysiikan ja maapallon lähiavaruuden ilmiöiden tutkimuslaitokseksi. Sodankylän geofysiikan observatoriossa harjoitettu tutkimustoiminta on korkeaa kansainvälistä tasoa, mistä on osoituksena lukuisat tieteelliset julkaisut ja observatorion aineistoista tehdyt yliopistolliset väitöskirjat ja muut opinnäytteet. Observatorion tuottamien mittausaineistojen käyttäjiä on paljon sekä kotimaassa että ulkomailla, mikä on osoituksena havaintotuloksien hyvästä laadusta.

Sodankylän geofysiikan observatorion historiallisista vaiheista ja siellä tehdyistä mittauksista sekä tutkimuksista on kirjoitettu useaan otteeseen muun muassa Suomalaisen Tiedeakatemian yleishistoriikkeissa akatemian 50-, 75- ja 100-vuotisjuhlia varten (Ketonen, 1959; Halila, 1987; Paaskoski, 2008). Observatorion entiset johtajat ovat myös laatineet katsauksia laitoksen toiminnan vaiheista hallintokausiltaan (Sucksdorff, 1952; Kataja, 1973, 1999a; Kangas, 1999). Lisäksi observatorion ensimmäisestä johtajasta Jaakko Keräsestä on kirjoitettu elämäkerta, jossa kuvailaan erityisesti laitoksen ensivaiheita (Nevanlinna, 2014b). Sodankylän observatorion perustamisesta ja alkuaajoista sekä sen edeltäjälaitoksista ovat kirjoittaneet muun muassa Simojoki (1978), Holmberg (1992) ja Seppinen (2002). Laajassa moniosaisessa Suomen tieteen historiaa käsittelevässä teoksessa<sup>4</sup> Sodankylän observatorio on mukana geofysikaalisen tutkimuksen katsauksessa (Markkanen, 2000). Lisäksi observatorion tutkijat ovat kirjoittaneet Sodankylän observatorion vaiheista eri aikakaus- ja sanomalehtiin. Observatoriossa tehtävät havainnot ja tutkimustyöt ovat olleet esillä myös useissa radio- ja TV-ohjelmissa.

Sodankylän geofysiikan observatorion perustamisen 100-vuotisjuhlalilaisuus järjestettiin Sodankylässä 21.9.2013. Tilaisuudessa puhuivat Sodankylän observatorion johtaja, Oulun yliopiston rehtori sekä opetusministeriön ja Sodankylän kunnan edustajat. Tapahtumaan kuului myös koko syksyn kestänyt laaja yleisölle suunnattu Studia Generalia -luentosarja, missä Sodankylän geofysiikan observatorion kotimaisten yhteistyötahojen tutkijat esitelmöivät observatorion tieteellisiä tutkimuksia sivuavista aiheista. Juhlavuoden yhteydessä esille nousi myös ajatus siitä, että Sodankylän geofysiikan observatoriosta olisi tärkeää laatia historia. Onhan observatorio eräs maamme vanhimpia tieteellisiä laitoksia ja siellä tehty geofysikaalinen havaintotyö ja tutkimukset ovat osa arvokasta kansallista ja kansainvälistä tieteellistä perinnettä. Monista syistä johtuen kirjahanke viivästyi ja se on toteutunut nyt, kun observatorio on saavuttanut jo 103 vuoden iän.

Nyt käsillä olevassa historiakirjassa luodaan katsaus Sodankylän observatorion jo yli sata-

vuotiseen toimintaan sen eri tutkimus- ja havaintoaloilta. Kirja ei pyri olemaan kaiken kattava esitys observatorion moninaisista vaiheista ja sen eri tutkimussuuntauksista, mutta olennaisimmat kehityslinjat on pyritty tuomaan esiin. Kirjoittajina ovat Sodankylän geofysiikan observatoriosta (SGO), Oulun yliopistosta (OY) ja Ilmatieteen laitoksesta (IL): Jorma Kangas (OY), Eero Kataja (†) (SGO), Elena Kozlovskaya (OY), Johannes Kultima (†) (SGO), Esko Kyrö (IL), Lauri Lajunen (OY), Jyrki Manninen (SGO), Heikki Nevanlinna (IL), Juhani Oksman (OY), Risto Pellinen (IL), Tero Raita (SGO), Arne Ranta (SGO), Pekka Tanskanen (OY), Esa Turunen (SGO), Tauno Turunen (SGO) ja Ilya Usoskin (OY). Useilla näistä on ollut omakohtainen työhistoria Sodankylän geofysiikan observatoriossa, joka pisimmillään ulottuu 1950-luvun alkuun. Näin tähän kirjaan tulee dokumentoitua observatorion historian vaiheita suoraan henkilökohtaisten työkokemusten kautta aina nykyaikaan saakka.

Kirjassa on mukana Sodankylän observatorion varhaisimmat vaiheet 1910-luvulta eteenpäin. Myös sitä edeltävä kehityskulku on kuvattu aina ensimmäisestä polaarivuodesta (1882–1884) lähtien. Tietolähteinä on käytetty aikaisemmin julkaistuja kirjoituksia Sodankylän observatorion vaiheista. Erityisen arvokasta aineistoa on kirjan toimittaja saanut Sodankylän geofysiikan observatorion edesmenneen johtajan Eero Katajan (1927–2014) kirjallisesta jäämistöstä, joka sisältää useita observatorion historiaan liittyviä julkaisemattomia kirjoituksia ja muuta materiaalia.

Kiitos kaikille kirjoittajille, jotka työkiireiden ja muiden tehtäviensä ohella ovat ehtineet paneutua Sodankylän observatorion historiaan ja nykypäivään ja työstäneet tietonsa artikkelien muotoon. Erityiskiitos kuuluu Jyrki Manniselle, Juhani Oksmanille, Jorma Kankaalle ja Esa Turuselle, jotka ovat antaneet arvokkaita ja hyödyllisiä kommentteja ja korjauksia useimmista kirjoituksista. Kiitos myös Sodankylän geofysiikan observatorion tutkimussihteeri Pirkko Kaukoselle ja geofyysikko Tero Raidalle, jotka ovat koonneet kirjaa varten eri arkistolähteistä tilastotietoja, valokuvia ja observatorion hallintoon liittyviä dokumentteja. Suurta apua ja kommentteja ovat antaneet myös Airi Kataja, Thomas Ulich, Alexander Kozlovsky ja Jyrki Hilpelä.

Jyrki Manninen ja Risto Nevanlinna ovat tehnyt perusteellista oikolukua ja virheiden metsästyä, siitä heille suuri kiitos.

Kirjan graafisen suunnittelun ja taiton on taidolla tehnyt Minna Etsalo ja painotyön Juvenes Print Oy Oulussa.

HELSINGISSÄ, 1.9.2016

*Heikki Nevanlinna, toimittaja*

<sup>4</sup> Päiviö Tommila (toim.), 2000. Suomen tieteen historia, osat 1–4.

1.

---

# HISTORIAN VAIHEITA

Heikki Nevanlinna

## Geomagneettinen observatorio

Observatorio on tieteellisen organisaation ylläpitämä rakennusryhmä, jossa erikoislaitteilla tehdään jatkuvia havaintoja erilaisista luonnonilmiöistä. Sana observatorio tulee latinankielisestä sanasta *observo*, tehdä havaintoja. Observatoriota ylläpitävä laitos, yliopisto tai tutkimusorganisaatio, tekee tuottamistaan aineistoista tieteellisiä tutkimuksia yleensä yhteistyönä kansainvälisen tiedeyhteisön kanssa. Tärkeä toimintamuoto on tuotettujen havaintoaineistojen välitys ja tallentaminen alan tiedeyhteisön käyttöön.

Tavanomaisessa kielenkäytössä observatorio mielletään tähtitieteelliseksi observatorioksi, mutta milloin havaintokohteina ovat esimerkiksi ilmakehän ja lähiavaruuden fysikaaliset suuret ja mitattavat ominaisuudet, kiinteän maan kohteet kuten geomagnetismi ja maaperän seismisyys, puhutaan geofysikaalisesta observatoriosta. Observatorioiden toiminnalle on tyypillistä havainto-ohjelmien vuosikymmenien yli ulottuva jatkuvuus, koska usein seurataan hitaasti muuttuvia kohteita kuten esimerkiksi geomagneettisia muutoksia tai ilmastollisia vaihteluita. Kun Sodankylän observatorio perustettiin vuonna 1913 sen päätehtävät liittyivät vain geomagnetismiin ja päivittäisiin säähavaintoihin, mutta vähitellen vuosikymmenien myötä tehtäväkenttä laajeni koskemaan koko ilmakehää aina sen ulkorajalle saakka. Mukaan tulivat myös muun muassa seismologiset mittaukset ja avaruussäteily ja jopa astronomiset havainnot.

Geomagneettinen observatorio on miehitetty havaintoasema, jossa erikoislaitteilla seurataan Maan magneettikentän vaihteluita. Geomagneettisten observatorioiden tehtävänä on tallentaa maapallon magneettikentän aikavaihtelut kaikilla taajuuksilla. Vaihteluiden tyypilliset kestot ovat sekunnin osista noin vuoteen, kun muutosten aiheuttajat ovat maapallon lähiavaruuden sähkövirrat. Maapallon sisäisistä syistä johtuvat vaihtelut (sekulaarimuutos) kattavat aikavälin noin vuodesta eteenpäin aina satoihin ja tuhansiin vuosiin. Observatoriahavaintoja on eri puolilta maapalloa suunnilleen 250 vuoden ajalta. Tällä hetkellä geomagneettisia observatorioita on toiminnassa eri maissa noin 200. Geomagneettiset ilmiöt ovat luonteeltaan globaaleja, joten alan tutkimuksiin tarvitaan koko maapallon kattava havaintoverkko. Kansainvälinen yhteistyö ja tieteellinen tutkimus magneettisten observatorioiden välillä on organisoitu pääasiassa Kansainvälisen geodeettis-geofysikaalisen unionin (IUGG) alajärjestön IAGA:n (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) kautta. IUGG:n ja IAGA:n toimintaan on Sodankylän observatoriosta osallistuttu jo 1920-luvulta lähtien.

Observatorioissa tapahtuvien magneettikentän rekisteröintien tulee olla jatkuvia ja aikasarjojen homogeenisia. Satelliittimittaukset eivät vielä korvaa maanpinnalla tehtyjä observatoriahavaintoja, koska satelliittien elinikä on kohtalaisen lyhyt, korkeintaan 10 vuotta. Observatoriotoiminta on pitkäkestoista geofysikaalisen perusaineiston tuottamista. Observatorio eroaa automaattiasemasta siinä, että observatorio on aina miehitetty. Se takaa havaintoaineiston paremman laadun ja aikasarjojen mahdollisimman lyhyet katkot huoltotilanteissa.

Sodankylän magneettisen observatorion ensimmäinen tehtävä oli toimia Lapissa tehtävien magneettisten maastomittausten tukiasemana. Laitoksen ylläpitämistä rekisteröinneistä saatiin tarvittavat korjauslukemat kenttäolosuhteissa tehtyihin magneettisiin havaintoihin. Tukiasematehtävällä perusteltiin osaksi Sodankylän observatorion perustamista, vaikka observatoriolla oli tärkeä rooli Lapin ainoana meteorologisena asemana, josta päivittäiset sääsanomat lähetettiin Helsinkiin sähköitse. Kun Lapin magneettiset aluemittaukset päättyivät 1920-luvun lopulla Sodankylän observatorion tukiasematehtävät loppuivat vuosikymmeniksi ennen kuin magneettiset maastomittaukset alkoivat uudelleen 1950-luvulla. Silloin alkoi kuitenkin observatorion havaintotehtävien laajentuminen useille geofysiikan eri alueille.

## Observatoriot tulevat Suomeen

Suomeen perustettiin ensimmäinen tähtitieteellinen observatorio vuonna 1819 Turun Akatemian yhteyteen (Markkanen, 2015). Helsingin yliopisto sai vastaavan observatorion vuonna 1834, mutta pian tämän jälkeen vuonna 1838 yliopiston alaisuuteen perustettiin aivan uudenlainen magneettis-meteorologinen observatorio osana magneettisia ja meteorologisia ilmiötä kohtaan virinnyttä maailmanlaajuista kiinnostusta (Seppinen, 1988; Nevanlinna, 2014a). Observatorion perustamisen takana oli Venäjän Tiedeakatemia ja sen magneettisista havainnoista vastaava johtaja Adolph Kupffer (1799–1865), mutta lopulliset päätökset teki keisari Nikolai I. Helsingin magneettis-meteorologisesta observatoriosta kehittyi sittemmin monien organisatorien vaiheiden kautta nykyinen Ilmatieteen laitos (Seppinen, 1988; Nevanlinna, 2014a). Observatorion ensimmäinen johtaja oli Helsingin yliopiston fysiikan professori Johan Jakob Nervander<sup>5</sup> (1805–1848). Säännölliset magneettiset ja meteorologiset havainnot aloitettiin Helsingin observatoriossa 1.7.1844. Tuohon aikaan maailmalla oli jo toiminnassa useita kymmeniä magneettis-meteorologisia observatorioita.

Magneettis-meteorologisten observatorioiden perustamisen tieteellisinä pontimina olivat uudet fysiikan alalla saadut mullistavat tulokset sähkömagnetismin ja -dynamiikan aloilla 1800-luvun ensi vuosikymmeninä. Alan pioneeritutkijoita olivat muun muassa Hans Christian Ørsted (1777–1851), Michael Faraday (1791–1867) ja André-Marie Ampère (1775–1836) (Lindell, 2009). Tutkimuksien kautta näytti avautuvan uusia ja parempia selityksiä maapallon sähköisille ja magneettisille ominaisuuksille ja niiden vaihteluille. Ajan uuden tieteellisen paradigman mukaan magneettiset muutokset ja ilmakehän lämpötilan vaihtelut näyttäisivät olevan fysikaalisesti toisistaan riippuvia. Siksi niitä havainnoitiin yhtenäisen havainto-ohjelman puitteis-

<sup>5</sup> J. J. Nervanderin elämäkertateoksen on kirjoittanut Torsten Steinby (1992). Samasta aiheesta on julkaissut kirjoituksia muiden muassa Holmberg & Nevanlinna (2005), Nevanlinna (2014a).

sa magneettis-meteorologisissa observatorioissa. Muutamaa vuosikymmentä myöhemmin tätä ajattelutapaa laajennettiin koskemaan muitakin maapallon sähköisiä ominaisuuksia kuten revontulia ja salamointia.

Helsingin magneettis-meteorologisessa observatoriossa luotiin osaamisen perusta magneettisten ja meteorologisten havaintojen tekniikalle, jota sitten sovellettiin käytännössä myöhemmissä observatoriahankkeissa Sodankylässä polaarivuoden aikana 1882–1884. Nervander toi Suomeen Euroopan tiedekeskuksista aivan uuden tieteenalan, sähkömagnetismin ja sen geomagneettiset sovellukset (Niemi ja Sihvola, 2006). Hänen aloittamansa geomagneettinen tutkimusohjelma edusti aikakauden keskeisiä kansainvälisiä tutkimushankkeita.

Helsingin magneettis-meteorologisen observatorion magneettiset havainnot ovat edelleen aktiivisessa käytössä avaruussään ja -ilmaston tutkimuksissa (Nevanlinna, 2004; Lockwood et al., 2013). Yhdessä Sodankylän ja Ilmatieteen laitoksen Nurmijärven observatorioiden magneettisten havaintojen kanssa Helsingin aineiston avulla saadaan yhtäjaksoinen kuva Suomen alueen magneettikentän vaihteluista yli 170 vuoden ajalta vuodesta 1844 eteenpäin.

Aikakauden kansainvälisen luonnontieteellisen tiedeyhteisön merkittävin ja arvovaltaisin vaikuttaja oli preussilainen luonnontieteilijä ja tutkimusmatkailija Alexander von Humboldt (1769–1859) (Malin and Barraclough, 1991). Paljolti hänen vaikutuksestaan luonnontieteissä, lähinnä meteorologiassa, geomagnetismissä, geologiassa, kasvitieteessä ja maantieteessä, keskeiseksi tutkimusmetodiksi muodostui empiiristen aineistojen keruu sekä systemaattiset havainnot ja mittaukset. Von Humboldtin aloitteesta perustettiin muutamassa vuosikymmenessä 1820-luvulta lähtien yli 40 observatoriota systemaattisia meteorologisia ja geomagneettisia havaintoja varten. Niitä jatkoi Carl Friedrich Gaussin (1777–1855) perustamalla vuonna 1836 Göttingenin yliopistoon suurisuuntaisen Der Magnetische Verein (Magneettinen yhdistys). Yhdistyksen organisoimana koordinoituja magneettisia mittauksia tehtiin kymmenillä havaintoasemilla lähes kaikilla mantereilla yhtenäisen havainto-ohjelman puitteissa (Chapman and Bartels, 1940; Stern, 2002).

Gauss ja hänen assistenttinsa Wilhelm Weberin (1804–1891) tieteelliset työt magnetismin teoriassa ja havaintolaitteiden kehittelyssä olivat uraauurtavia. Heidän kehittämänsä magneettikentän mittalaitteet olivat käytössä seuraavan noin 100 vuoden ajan lähes kaikissa magneettisissa observatorioissa.

### Kansainvälinen polaarivuosi 1882–1883 ja Sodankylän observatorio

Tiedeyhteisön mielenkiinto pohjoista ja eteläistä napa-aluetta kohtaan oli alkanut jo luonnontieteiden nousukaudella 1700-luvulla (Pihlaja, 2009). Arktika ja Antarktika olivat vielä paljolti kartoittamattomia ja tuntemattomia seutuja. Alueiden vaikeat jääolosuhteet ja kylmyys tekivät kulkemisen siellä vaikeaksi ja laivaliikenteelle haastavaksi. Vielä 1800-luvun puolivälissä tutkijat

eivät olleet varmoja siitä, onko pohjois- ja etelänavan lähiympäristö mannerta vai jään peittämää merta. Antarktika sijaitsee kaukana Euroopasta, joten alueelle tehtiin harvemmin tutkimusmatkoja. Arktika oli lähempänä ja sinne suuntasivat koko 1800-luvun ajan useat tieteelliset retkikunnat maitse ja meritse jatkaen edellisten vuosisatojen tutkimusperinteitä. Pääsy pohjoisnavalle oli yksi keskeinen tavoite. Samoin uusien merireittien valloitus Siperian rannikolta Tyynelle valtamerelle (Koillisväylä) ja toisaalta Pohjois-Amerikan arktisen saariston kautta Atlantilta Tyynelle valtamerelle (Luoteisväylä) olivat pitkään haasteena erilaisille tutkimusretkikunnille. Kiinnostus Arktikaa kohtaan ei ollut kuitenkaan pelkästään tieteellinen, vaan kartoitettavana olivat myös mahdolliset käytännölliset luonnonvarat, sotilasstrategisia ja kolonialistisia näkökulmiakaan unohtamatta. Huippuvuorien suuret kivihiilesiintymät olivat jo tiedossa varhain, vaikkakin niiden taloudellinen hyödyntäminen on ollut vaikeaa.

1830-luvulta eteenpäin varustettiin lukuisia retkikuntia tutkimaan arktista aluetta. Koillisväylän löytäjä, kuuluisa suomalaissyntyinen naparetkeilijä, A.E. Nordenskiöld (1832–1901) varusti useita tutkimusretkueita Huippuvuorille ja Jäämerelle 1860- ja 1870-luvuilla. Vuoden 1868 matkaan osallistui myös Helsingin yliopiston fysiikan professori Selim Lemström (Simojoki, 1978; Holmberg, 1989). Hän teki matkan aikana revontulien spektrimittauksia ja ilmasähköisiä havaintoja, joista sittemmin tuli Lemströmin tieteellisen uran keskeisiä tutkimuskohteita. Merkittävin tutkimusmatka tulevan polaarivuoden tutkimusohjelmaa ajatellen oli Itävalta-Unkarin pohjoisnaparetkikunta vuosina 1872–1874. Matkan toisena johtajana oli laivaston luutnantti Karl Weyprecht (1838–1881), josta tuli polaarivuoden ohjelman innokas puolesta puhuja.

Euroopan laajuinen kansainvälinen tiedeyhteistyö toimi koko 1800-luvun hyvin ja tehokkaasti ilmatieteellisten ja geomagneettisten havaintojen kokoamisessa ja niiden vaihdossa eri maiden välillä. Vuonna 1873 saatiin aikaiseksi ensimmäinen kansainvälinen meteorologinen<sup>6</sup> kokous, joka pidettiin Itävallan Wienissä. Sen tehtävänä oli koordinoida ilmatieteellisiä, hydrologisia ja magneettisia mittauksia sekä yhdenmukaistaa havaintostandardeja. Kokoukseen osallistui 32 asiantuntijaa 20:sta eri valtiosta. Suomea edusti Nils Karl Nordenskiöld (1837–1889), Meteorologisen keskuslaitoksen tuleva johtaja ja Koillisväylän löytäjän Adolf Erik Nordenskiöldin nuorempi veli. Venäjän Pietarin keskusobservatorion esimies sveitsiläinen Heinrich von Wild (1833–1902) oli kokouksen keskeisiä organisaattoreita.

Kansainvälinen napaseutujen tutkimuskomissio julisti 13 kuukauden jakson 1.8.1882–1.9.1883 kansainväliseksi polaarivuodeksi<sup>7</sup>. Sen tavoitteena oli luoda tieteellinen pohja vielä lähes tuntemattomalle arktiselle säälle ja ilmastolle sekä kerätä havaintoaineistoa alueen geofy-

<sup>6</sup> International Meteorological Organization (IMO) oli toiminnassa vuoteen 1953 saakka, jolloin siitä tuli YK:n alainen Maailman ilmatieteen järjestö (World Meteorological Organization eli WMO).

<sup>7</sup> Toinen kansainvälinen polaarivuosi järjestettiin vuosina 1932–1933, kolmas (kansainvälinen Geofysiikan vuosi) 1957–1958 ja neljäs (kansainvälinen polaarivuosi) 2007–2009.





Karl Selim Lemström (1838–1904) oli Helsingin yliopiston fysiikan professori. Hän oli myös Suomen polaaritutkimusretkikunnan johtaja Sodankylässä 1882–1884. (Kuva: Helsingin yliopisto)

sikaalisista kohteista alan tutkimusta varten. Havaintoasemia perustettiin kaikkiaan 12, ympäri koko pohjoista napapiiriä. Suomen suuriruhtinaskunta oli mukana hankkeessa Selim Lemströmin laatiman suunnitelman pohjalta. Kansainvälisen polaarikomission kesällä 1881 pidetyssä kokouksessa Pietarissa Suomen delegaatio ilmoitti, että Suomi varustaa tutkimusaseman Sodankylään geomagneettisiin ja meteorologisiin havaintoihin sekä revontulimittauksiin. Norjalaisten polaariasema Bossekop tulisi sijaitsemaan vain noin 400 kilometrin etäisyydellä Sodankylästä luoteeseen Altavuonon perukassa. Lemströmin mukaan asemien läheisyys ei haittaa, koska Bossekop edustaa merellistä ilmastoa ja Sodankylä mantereista. Lisäksi Bossekop, Sodankylä ja Pietari sijaitsevat suunnilleen samalla maantieteellisellä isoympyrällä, jolloin saataisiin tärkeää vertailuaineistoa pitkin yhtenäistä havaintolinjaa napapiirin eteläpuoleltakin. Havaintoasemien kokonaisuuteen laskettiin kuuluvaksi vielä Helsingin magneettis-meteorologinen observatorio. Sinne ehdotettiin hankittavaksi uusia havaintolaitteita noin 16 000 markan (73 000 euroa) edestä. Polaarivuoden kokonaiskustannukset nousivat Lemströmin suunnitelmassa 77 500 markkaan (350 000 euroa). Alkuperäisessä ehdotuksessa (2.1.1882) mukana oli myös sivuaseman perustaminen Kittilään. Ennen lopullista päätöstä Lemströmin suunnitelma käsiteltiin Tiedeseuran meteorologisessa valiokunnassa, joka kustannuksien säästämiseksi karsi esityksestä Kittilän sivuaseman. Hanke eteni seuraavaksi senaatin talousosastoon (4.2.1882), missä eri säädyt

Sodankylän polaariretkikunta sai runsaasti huomiota maamme päivälehdissä. Tässä yksi esimerkki.



UUSI SUOMETAR 19.7.1882

– Sodankylän magnetinen ja meteorologinen tutkimus-matkue lähtee täältä [Helsingistä] ylihuomenna [21.7.1882] Uleåborg laivalla Kemiin ja sieltä sitten maamatkaa Kemijärvelle ja siitä veneellä Sodankylään. Matkueen jäseninä ovat Prof. S. Lemström, joka kuitenkin, järjestettyänsä laitoksen, palaa sieltä tulevassa marraskuussa takaisin, sekä hrat ylioppilaat E. Biese, joka sitten tulee johtajaksi, Karl Granit, Santeri Dahlström ja Alfred Petrelius, jotka jäävät sinne, ynnä eräs saksalainen mekanikko Luther. Edellä ovat jo menneet maisteri N. Sundman, joka pitää huolta tarpeellisista rakennuksista ja tekee eläintieteellisiä tutkimuksia sekä yliopp. B. Blom kasviopillisia tutkimuksia varten. - Matkue on hyvin varustettu tieteellisillä apukeinoilla; niin on sillä esim. erinomaisen hyvä n.k. variationi-kone uusinta mallia magnetillisiä kokeita varten, magnetinen matka-theodoliti, valokuvauskone, ilmapallo y.m. tieteellisiä koneita ilman lämmön, kosteuden ja muiden suhteitten tutkimista varten. Matkueen mukana vietävä tavara muodostaa melkoisen kuorman, 40–50 kolia, sinne, näet, kun on vietävä kaikenlaiset tarvekalut ja toimeentulon aineet. Barnängen'in tehtaan omistaja Ruotsista on yritykselle lahjoittanut kokoelman saippuota, hajuvesiä, rasvoja y.m.. Tutkimuspaikalla ovat nuoret tiedemiehet majoitetut Sodankylän pappilaan ja läheisiin taloihin.



Piirros Sodankylän polaariasemasta 1883–1884. Kuva on teoksesta *Suomi 1800-luvulla* (1893).

Polar Station in Sodankylä.

ottivat kantaa polaariasemahankkeeseen. Äänestyksien jälkeen polaarivuoden ohjelma hyväksyttiin Tiedeseuran supistamassa muodossa. Lopullisen siunauksen polaariaseman perustamiselle antoi keisari Aleksanteri III, joka myönsi senaatille luvan käyttää Suomen valtion varoja hankkeessa. Senaatissa polaarivuoden määrärahoja ohjaili kirkollisasian toimikunta (nykyinen opetus- ja kulttuuriministeriö).

Havaintoaseman rakennustyöt aloitettiin Sodankylässä vuoden 1882 huhtikuussa, ja jo heinäkuussa retkikuntalaiset saattoivat matkustaa paikalle asentamaan havaintolaitteita. Meteorologiset sekä magneettiset havainnot voitiin aloittaa elokuun lopulla kolmisen viikkoa myöhemmin kuin polaarivuoden virallinen aloituspäivä 1.8.1882.

Observatoriorakennukset pystytettiin Sodankylän Pappilanniemeen Kitisen ja Jeesiöjoen väliselle niemelle. Polaari- ja retkikunnan johtajaksi nimitettiin Selim Lemström, jolla oli laajin kokemus Lapin olosuhteista aikaisemmilta meteorologisilta kenttätutkimuksiltaan. Sodankylän aseman paikallisjohtajaksi valittiin Ernst Biese (1856–1926), joka oli Helsingin yliopiston fysiikan laboratorion assistentti. Biese vastasi yhdessä Lemströmin kanssa magneettisten instrumenttien kalibroinnista niin sanotuilla absoluuttimittauksilla. Tähtitieteelliset paikka- ja aikamääritykset kuuluivat ylioppilas Alfred Petreliuksen<sup>8</sup> (1863–1931) tehtäviin. Hänen apunaan oli ylioppilas Santeri (Alexander) Dahlström (1859–1913) Retkikunnan teknikkona ja valokuvaajana toimi insinööri Karl Granit (1857–1894).

Polaariaseman henkilökunnan määrä oli vähäinen, joten ympärivuorokautinen havaintotyö oli raskasta ja vaativaa. Kaikki havainnoitsijat olivat kouluttautuneet tehtäväänsä Pietarin keskusobservatoriossa. Mittausten lisäksi työtä vaativat myös laitteiden huolto ja kunnossapito, joissa jokaiselle määrättiin oma vastuualueensa. Korjaus- ja asennustöissä tutkijat saivat apua paikallisilta asukkailta.

Kansainvälinen polaarikomissio oli antanut tarkan ohjelman havaintojen tekoon. Lämpötila, tuulen suunta ja voimakkuus, maan magneettikentän voimakkuus ja ilman sähköisyys mitattiin tunnin välein. Lisäksi yöaikaan havaittiin revontulia, joiden esiintymisajat, värit ja muodot merkittiin muistiin. Magneettisten havaintojen osalta mittausmenetelmät olivat samoja kuin Helsingin magneettisessa observatoriossa käytettiin jo 1840-luvulla. Edelleenkin havainnot tehtiin visuaalisesti seuraamalla kaukoputken avulla magneettien heilahdusliikkeitä. Tavallisina päivinä havaintoja kertyi 743, ja kahtena päivänä kuussa, termiinipäivinä (kunkin kuukauden 1. ja 15. päivä), magneettisia havaintoja tehtiin viiden minuutin välein, jolloin vuorokaudessa kertyi 4175 havaintoa. Havainnontekijät työskentelivät kolmessa vuorossa ja kaikki mittaustulokset merkittiin päiväkirjaan. Polaariaseman sivuasemalla Ivalon Kultalassa tehtiin rinnakkaisia havaintojaksoja ja vertailtiin eri leveysasteiden sähköilmiöitä. Havaintojaksolta, joka kesti elokuusta 1882 syyskuun alkuun 1883 saakka, rekisteröitiin kaikkiaan 363 682 havaintoa. Tulokset julkaistiin polaarivuoden jälkeen Suomen Tie-

<sup>8</sup> Petrelius toimi myöhemmin Teknillisen korkeakoulun geodesian professorina. Hän oli myös Suomalaisen Tiedekatemian Sodankylän observatorion observatorio-toimikunnan jäsen 1910–1931.

deseuran toimittamina kolmena laajana ranskankielisenä niteenä (Lemström & Biese, 1886–1898).

Polaarivuoden aikana kerättyjä havaintoja tutkitaan osittain vieläkin. Meteorologiset havainnot kaikilta asemilta on koottu 2007–2009 järjestetyn polaarivuoden (IPY, International Polar Year) internet -sivuille. Sodankylän osalta kaikki magneettiset havainnot digitointiin Ilmatieteen laitoksella ja niiden tieteellinen yhteenveto on julkaistu (Nevanlinna, 1999).

Lemström haki vuoden lisäaikaa polaariasemille, joissa hän saattoi jatkaa hyvin alkaneita revontulimittauksiaan. Rahoitusanomuksen puoltajiksi hän sai Ruotsista kuuluisan tutkimusmatkaja Adolf Erik Nordenskiöldin (1832–1901) ja Uppsalan yliopiston fysiikan professori Erik Edlundin (1819–1888). Senaatti myönsi lisävaroja 43 000 markkaa (Elfving, 1938). Lisävuosi Sodankylässä kesti syksystä 1883 kevääseen 1884. Polaarivuoden ohjelmaa jatkettiin, mutta supistetun ohjelman puitteissa. Jotta osanottajien määrää voitiin vähentää, tehtiin ilmatieteellisiä havaintoja vain kolmesti vuorokaudessa. Kultalan sivuasema oli toiminnassa osan talvea kuten aikaisemminkin. Kultalassa havaintotyö oli vaativaa ja yksitoikkoinen elämä kävi voimille. Vaihtelua toivat muutamat vierailut sekä Ernst Biesen tuomat uutiset ja sanomalehdet. Kultala ympäristöineen muodostui kuitenkin tärkeäksi paikaksi sen asukkaille. Kylän asukkaat olivat nähneet kuinka havaintorakennuksissa kaukoputkella katsottiin mittalaitteita. Maallikoiden mielestä se muistutti tähtien tiirailua ja siksi koko asema sai kyläläisiltä nimen Tähtelä ja retkikuntaa nimitettiin tähtiherroiksi. Sodankylän nykyinenkin observatorio käyttää tätä epävirallista nimeä muistona ensimmäisen polaarivuoden ajoista.

Polaarivuoden 1882–1883 aikana Lemström teki Lapissa kokeita keinotekoisien revontulien aikaansaamiseksi. Hän oli vuonna 1871 yrittänyt Inarissa revontulivalon luomista sähkövirran avulla ja Sodankylässä hän toisti saman kokeen laajempaan (Holmberg, 1989). Ajatusmallina olivat havainnot revontulista tunturien ja vuorten huipuilla, joista ne näyttivät nousevan ilmaan. Jos ohentuneeseen ilmakerrokseen asennetaan metallijohdin, se mahdollistaisi revontulia synnyttävän sähkövirran purkauksen ja siten optisesti havaittavan revontulivalon muodostumisen. Lemströmin mukaan sopivasti harventunutta ilmaa voisi löytyä tunturien huipuilta. Revontulivirtauksia mitatakseen hän asensi marras-joulukuussa 1882 Sodankylästä noin 20 kilometrin etäisyydellä sijaitsevan Oratunturin (korkeus 450 metriä) laelle kuparijohdinsilmukan. Kokeet näyttivät onnistuvan, koska johdinsilmukkaan syntyi sähkövirta samaan aikaan, kun spektrimittauksilla nähtiin revontulivalon tyypillinen aallonpituus. Lemström jatkoi näitä tutkimuksiaan vuonna 1884 Inarin Kultalan Pietarintunturilla (nykyisin Pietarlautanen) (Lemström, 1886; Seppinen, 2006). Kokeiden tulokset vakuuttivat Lemströmin siitä, että revontulet ovat sähköistä alkuperää ja aiheutuvat ilmakehän sähköisyydestä.

Kultalassa Lemström mittasi myös revontulten korkeutta kahdesta eri havaintopisteestä. Tulosten perusteella hän päätteli, että revontulet voivat esiintyä laajalla korkeusalueella muutamasta sadasta metrillä 20–30 kilometriin saakka maanpinnasta ylöspäin. Myöhempien tutkimuksien valossa Lemströmin tulokset olivat kuitenkin virheellisiä ja saadut korkeuslukemat aivan





Sodankylän ensimmäisen polaarivuoden aikaisen observatorion muistomerkki, joka paljastettiin elokuussa 1983. (Kuvat: Heikki Nevanlinna, Lasse Salmelin)

liian alhaisia. Eräät revontulitutkijat yrittivät toistaa Lemströmin kokeet johdinsilmukoilla, mutta ilman tulosta (Moss and Stauning, 2012).

Suomen osuus polaarivuoden ohjelmasta oli onnistunut ja saavutetut tutkimustulokset herättivät kansainvälistä huomiota. Menestys polaarivuoden tutkimus- ja havainto-ohjelmassa merkitsi pienelle maalle arvokaiden havaintotulosten lisäksi kansainvälistä näkyvyyttä tiedemaailmassa ja tämä puolestaan sopi hyvin ajan kansallisaatteelliseen henkeen. Polaarivuoden suurin merkitys oli alan tutkimuksen uusi aktiivinen vaihe Lappissa ja suomalaisen geofysiikan tutkimuksen nousu kansainväliselle tasolle. Tärkeää oli myös se, että Suomi, osana Venäjän valtakuntaa, oli kuitenkin itsenäinen toimija polaarivuoden ohjelmassa. Tästä lankeaa kiitos myös Pietarin keskusobservatorion johtaja Heinrich von Wildille<sup>9</sup>, joka voimakkaasti tuki suomalaisten tutkimussuunnitelmia ja antoi apua mittauksen suorittamisessa.

<sup>9</sup> Heinrich von Wild (1833–1902) oli sveitsiläinen meteorologi ja fyysikko ([https://de.wikipedia.org/wiki/Heinrich\\_von\\_Wild](https://de.wikipedia.org/wiki/Heinrich_von_Wild)).

## Uusi observatorio Sodankylään

Polaarivuoden jälkeen 1890-luvun alussa Sodankylä nousi uudelleen esille magneettisen observatorion sijoituspaikkana. Vuonna 1893 Venäjän Tiedeakatemia lähetti aloitteen Meteorologiselle keskuslaitokselle koko Suomen kattavan magneettisen kartoituksen käynnistämisestä. Laitoksen johtaja Ernst Biese teki hankkeesta yksityiskohtaisen ehdotuksen Tiedeseuralle. Siihen kuuluivat magneettiset mittaukset noin 200 havaintopaikalla eri puolella Suomea ja magneettisen observatorion perustaminen mittauksen tukiasemaksi Sodankylään. Tiedeseura oli varsin kriittinen uudelle ehdotukselle, koska muistissa oli vielä Sodankylän polaarivuoden (1882–1884) roimasti yli kustannusarvion nousseet menot. Itse mittauksen aloittamista kyllä kannatettiin, mutta ei pysyvää observatoriota Lappiin. Koko hanke kuitenkin raukesi varojen puutteeseen eikä Venäjälläkään saatu tuolloin magneettista kartoitustyötä käyntiin (Melander, 1914; Simojoki, 1978).

Magneettiset kartoitukset tulivat uudelleen ajankohtaisiksi heti 1900-luvun alussa. Vuonna 1905 Yhdysvaltalaisen Carnegien instituutin ehdotuksesta kaikkia maita kehoitettiin magneettisiin kartoituksiin omilla alueillaan maalla ja merillä. Tavoitteena oli saada aikaan tarkka kartasto maapallon magneettikentän globaalista rakenteesta, jotta magneettikentän alkuperä kyettäisiin täydellisemmin ymmärtämään. Suomessakin oltiin näistä pyrkimyksistä tietoisia. Carnegien instituutin kaavailemia magneettisia kartoituksia oli Euroopassa käynnissä jo useita, erityisesti Saksassa (Ketonen, 1959; Simojoki, 1978). Hanke sai uutta vauhtia, kun vuonna 1908 Pietarin Keisarillinen tiedeakatemia teki Meteorologiselle keskuslaitokselle kirjallisen esityksen Suomen alueen magneettisen kartoituksen käynnistämisestä uusien näin 15 vuotta aiemmin tehdyn aloitteen. Suomen Tiedeseura suhtautui myönteisesti ehdotukseen, mutta ei pitänyt tarpeellisena erillisen observatorion perustamista siitä aiheutuvien korkeiden kulujen vuoksi. Suomen Tiedeseurassa katsottiin, että Pietarin Pavlovskin<sup>10</sup> magneettisesta observatoriosta saataisiin tarvittavat korjauslukemat magneettisiin mittauksiin kartoituksen yhteydessä. Meteorologisen keskuslaitoksen laitoksen johtaja Melander oli mukana kansainvälisessä magneettisessä komissiossa, jonka tehtävänä oli suunnitella magneettisia kartoitustöitä Carnegien instituutin aloittaman maapallon laajuisen ohjelman mukaisesti. Melander teki vuonna 1909 komissiolle aloitteen pysyvän geomagneettisen observatorion perustamista Lappiin Sodankylään, jolloin napapiirin pohjoispuoliset osat tulisivat ensimmäistä kertaa geomagnetismin historiassa säännöllisten jatkuvien rekisteröintien kohteiksi.

Kyseessä oli tietynlainen kilpailu siitä, mikä valtio perustaa tällaisen napa-alueen äärimmäisissä olosuhteissa toimivan observatorion. Esillä oli ollut myös Norjan Tromssa, jonne vas-

<sup>10</sup> Pavlovskin magneettinen observatorio sijaitsi Pietarin esikaupunkialueella. Se oli perustettu vuonna 1878 ja kuului Venäjän Tiedeakatemiaan fysikaaliseen keskusobservatorioon. Observatorio tuhoutui täydellisesti toisessa maailmansodassa vuonna 1941.



taavanlainen observatorio pystytettiin myöhemmin 1930-luvun alussa. Sodankylä on ilmastollisesti suotuisampi pysyville rekisteröinneille kuin Jäämeren läheisyydessä sijaitseva Tromssa, missä tuulet ja ilman kosteus haittaavat rekisteröintejä. Lisäksi Norjan maaperä on magneettisesti erittäin häiriöinen, mikä vaikeuttaa tarkkoja magneettisia mittauksia. Sodankylässä oli tarjolla magneettisesti häiriöttömiä hiekkamaita, kuten Melander korostaa perusteluissaan Sodankylän puolesta. Melanderin mukaan pysyvä observatorio ei olisi aivan välttämätön magneettisen kartoituksen tukena, koska samat tiedot voitaisiin saada myös tilapäisten ja siirrettävien magneettisten asemien rekisteröinneistä kuten Tiedeseurakin oli ehdottanut (Melander, 1914). Kun Suomen alueen magneettinen kartoitus aloitettiin Meteorologisen keskuslaitoksen johdolla kesällä 1910, Sodankylän observatoriosta saatiin mittauksiin tarvittavat korjauslukemat vasta vuonna 1914. Siihen saakka korjauslukemina määrättiin Pavlovskin observatorion rekisteröinneistä (Keränen, 1933). Venäjän vallankumouksen jälkeen vuonna 1917 yhteydet Pavlovskiin katkesivat, mutta kontaktit Saksaan, Potsdamin observatorioon, korvasivat venäläisyhteistyön.

Sodankylän observatoriolle Venäjän tuki oli erityisen tärkeä, koska Pavlovskin magneettisessa observatoriossa oli tarkoitus tehdä magneettiseen kartoitukseen käytettävien laitteiden kalibroinnit ja henkilöstön koulutus. Näin Melanderin observatoriahankkeella oli kansainvälisen tiedeyhteisön laaja kannatus ja tuki, mutta kotimaassa Tiedeseura suhtautui uuden observatorion perustamiseen edelleen kielteisesti.

Heti vuoden 1910 alussa tapahtui käänne Sodankylän observatorion perustamisen hyväksi, kun professori Ernst Bonsdorff<sup>11</sup> (1842–1936) lahjoitti Suomalaiselle Tiedeakatemialle<sup>12</sup> 10 000 markkaa (noin 40 000 euroa) Lappiin perustettavaa observatoriota varten. Lisäksi yksityishenkilöiltä tuli lahjoituksena toiset 10 000 markkaa. Kun vielä valtiolta saatiin taloudellista tukea niin Sodankylän observatorion perustaminen siirtyi Suomalaisen Tiedeakatemian asiaksi. Melander tarttui toimeen ja hänen aloitteestaan perustettiin välittömästi komitea (observatoriotoimikunta), johon kuuluivat professori Ernst Bonsdorff, Meteorologisen keskuslaitoksen johtaja Gustaf Melander, Teknillisen korkeakoulun geodesian professori Alfred Petrelius ja Helsingin yliopiston professori ja Suomalaisen Tiedeakatemian yleissihteeri Gustaf Komppa. Observatoriotoimikunnan puheenjohtajaksi nimitettiin Gustaf Melander.

Melanderin tavoitteena oli irtaannuttaa Meteorologinen keskuslaitos Tiedeseuran holhouksesta ja saada siitä lopulta itsenäinen valtionlaitos. Sodankylän observatorion perustaminen Suomalaiseen Tiedeakatemiaan tuli Tiedeseuralle yllätyksenä, koska siellä oletettiin uuden observatorion hallinnon tulevan Tiedeseuran vastuulle. Melander ohitti päätöksenteoissaan Tiedeseuran meteorologisen valiokunnan, joka oli ilmatieteellisten toimintojen ylin kaitsija. Tapahtumat uu-

den observatorion hyväksi etenivät nopeasti. Maaliskuussa 1910 Melander teki Meteorologisen keskuslaitoksen nimissä aloitteen Suomen senaatille maa-alueen varaamisesta tulevan observatorion käyttöön. Senaatti pyysi lausuntoa asiasta Tiedeseuralta, joka puolsi Melanderin aloitetta. Näin Tiedeseura asiallisesti luopui mahdollisuudestaan isännöidä uutta observatoriota. Ratkaisu oli Tiedeseuralle ilmeisesti myös helpotus, koska vastustus pysyvän observatorion perustamisesta oli suuri. Nyt vastuu oli siirtynyt Suomalaiselle Tiedeakatemialle ja käytännössä Meteorologisen keskuslaitoksen johtaja Gustaf Melanderille.

Suomen senaatti myönsi Metsähallituksen puoltamana toukokuussa 1910 observatoriolle oikeudet tarvittavaan maa-alaan (400 hehtaaria) ja sieltä otettaviin rakennuspuihin. Observatorion lopullinen asema oli vielä avoinna, mutta kesällä 1910 Melander ja Petrelius hakivat observatoriolle sopivaa paikkaa ja harkittavana oli myös alue, jossa polaarivuoden 1882–1884 observatorio oli toiminut, mutta asutus oli siellä laajentunut liikaa observatoriohavaintoja ajatellen.

Kun lopulta vuonna 1919 Meteorologinen keskuslaitos irrotettiin Tiedeseurasta valtionlaitokseksi, Melanderin johdossa olivat kaikki Suomen meteorologiset toiminnot ja lisäksi vielä Sodankylän uusi magneettinen observatorio, vaikkakin muodollisesti Tiedeakatemian osana.

## Jaakko Keränen Sodankylän observatorion johtajaksi

Gustaf Melander palkkasi Jaakko Keräsen magneetikoksi vuonna 1911 tehtävään Pohjois-Suomen magneettiset mittaukset. Keränen oli kouliintunut magneettisiin ja meteorologisiin mittauksiin Ilmalan observatoriossa 1910–1911 ja Pavlovskin observatoriossa Venäjällä. Ensimmäiseksi Keräsen oli tutkittava Sodankylän Lintuselän alueen sopivuutta magneettisiin observatoriohavaintoihin. Mittaukset tehtiin kesäkuussa 1911. Niistä kävi ilmi, että Lintuselän alue on magneettisesti niin häiriöinen, ettei se lainkaan tullut kysymykseen observatorion sijoituspaikaksi. Tutkimukset jatkuivat seuraavana kesänä, jolloin löytyikin observatoriolle sopiva paikka Kitisenjoen itäpuolelta Halssinkankaalta noin 5 kilometrin etäisyydellä kirkonkylästä kaakkoon. Paikka oli tarkoitukseen sopiva sikäläkin, että se oli kohtuullisen etäisyyden päässä Rovaniemen valtiosta, vaikkakin joen toisella puolella. Observatorioalueelle rakennettiin myöhemmin lauttayhteys Kitisen yli. Heti mittaustulosten selvittyä Keränen lähetti pikakirjeenä tiedot tuloksistaan Helsinkiin Melanderille, joka saattoi heti ryhtyä toimenpiteisiin alueen varaamiseksi observatoriokäyttöön. Jo syksyllä 1912 Metsähallituksen edustaja, insinööri A. Tervo, erotti tarvittavan maa-alan observatoriota varten. Kun vielä Suomen senaatti oli myöntänyt kolmivuotisen avustuksen, 13 000 markkaa vuodessa, oli mahdollista käynnistää rakennustyöt mahdollisimman pian. Säähavaintolaitteisiin varat antoi Meteorologinen keskuslaitos. Rakennuspiirustukset laati

<sup>11</sup> Bonsdorff oli matemaatikko ja suomalaisen normaalikoulun matematiikan yliopettaja 1875–1910, professorin arvo 1883. Hän toimi Suomalaisen Tiedeakatemian esimiehenä 1912–1913 (Elfving, 1981).

<sup>12</sup> Perustettu vuonna 1908. Melander, Bonsdorff ja Petrelius valittiin Tiedeakatemian jäseniksi perustamisvuonna 1908.

ja lahjoitti ilmaiseksi Tiedeakatemialle arkkitehti, professori Onni Tarjanne<sup>13</sup> (1864–1946). Tiedeakatemia kilpailutti rakennustyöt ja niiden toteuttajaksi valittiin oululainen rakennusmestari J. Ervasti. Hyväksytyt rakennusurakan loppusumma oli 35 500 markkaa (noin 144 000 euroa). Rakennustyöt käynnistyivät joulukuussa 1912 (Melander, 1914; Ketonen, 1959). Urakka käsitti asuintalon ja sivurakennukset (vaihteluhuone ja absoluuttihuone) magneettisille havainto- ja rekisteröintilaitteille, saunan, navetan, tallin ja vajan sekä ulkokäymälän.

Syksyllä 1912 Keränen sai Meteorologisen keskuslaitoksen johtajalta luvan matkustaa viideksi kuukaudeksi Saksaan Potsdamin observatorioon ja Berliinin yliopistoon täydentämään geomagneettisia opintojaan. Tehtäviin kuului myös seurata Sodankylän observatoriolle tilattujen magnetometriä valmistamista ja tehdä niille tarvittavia kalibrointimittauksia. Keränen oli päässyt Potsdamin observatorion johtajan prof. Adolf Schmidtin (1860–1944) oppilaaksi. Potsdamin opintomatka kesti maaliskuulle 1913, jolloin Keränen palasi Suomeen ja Sodankylään valvomaan observatorion rakennustöitä ja hoitamaan magneettisten rekisteröintikojeiden asennusta.

Observatoriotoimikunta valitsi Jaakko Keräsen observatorion johtajaksi toukokuussa 1913 pitämässään kokouksessa. Samalla observatorion assistentiksi otettiin Keräsen ehdotuksesta FM Siiri Pajari, tuleva Siiri Keränen (v. 1914). Henkilökuntaan kuului vielä vahtimestari, jonka tehtäviä oli muun muassa huolehtia meteorologisista mittauksista ja magneettisten rekisteröintien valokuvauspapereiden päivittäisestä vaihdosta. Mukaan Sodankylään lähti Jaakko Keräsen sisar Saara (1889–1977) taloudenhoitajaksi.

Magneetikentän havaintolaitteisto oli valmiina joulukuussa, jolloin jatkuvat rekisteröinnit alkoivat. Virallisesti aloituspäivä oli 1.1.1914. Sodankylän magneettinen observatorio oli myös Meteorologisen keskuslaitoksen ensimmäisen luokan sääasema, jonka meteorologiset mittaukset olivat samaa vaatavuustasoa kuin keskuslaitoksen havainnot Helsingin Kaisaniemessä ja Ilmalassa. Säähavaintoasema oli ollut toiminnassa Sodankylän kirkonkylässä jo vuodesta 1908 lähtien, mutta se siirrettiin sieltä observatorion alueelle 1914. Päivittäiset säätiedot lähetettiin sähköitse Helsinkiin ja Pietariin.

Jaakko Keränen sai johtajan palkkansa Suomalaiselta Tiedeakatemialta, mutta samalla hänet oli kiinnitetty Meteorologisen keskuslaitoksen magneetikoksi Pohjois-Suomen magneettiseen kartoitushankkeeseen. Näitä mittauksia Keränen teki kesäisin. Lisäkorvausta hän sai ensimmäisen luokan meteorologisen aseman ylläpidosta. Näin Keränen oli kahden viran haltija. Sama koski assistentti Pajaria (Keränen). Hän osallistui observatorion magneettisiin ja meteorologisiin mittauksiin sekä viimeisteli havaintojen vaatimat ja työlääät laskutyöt.

Geomagnetismi tieteenalana ja magneettiset mittaukset olivat Jaakko Keräsen vahvin tie-

teellinen osaamisalue. Hänen johdossaan oli Suomen ainoa ja alan kansainvälisen tiedeyhteisön mittapuun mukaan moderni magneettinen ja meteorologinen observatorio, joka oli vielä lajissaan maapallon pohjoisin. Sodankylän magneettisten rekisteröintien tuloksia kohtaan oli siten alan tiedeyhteisössä suurta mielenkiintoa. Näin olisi ollut odotettavissa, että Keränen olisi hyödyntänyt observatorion tuottamaa havaintomateriaalia yliopistolliseksi väitöskirjaksi asti. Eräs hänen varhaisia tutkimuksiaan viittaakin tähän suuntaan. Kyseessä on Sodankylän ensimmäisen havaintovuoden (1914) tuloksien analysointi. Tutkimus ilmestyi painettuna vasta kolme vuotta myöhemmin (Keränen, 1917). Kirjoituksessa tarkastellaan magneetikentän säännöllistä vuorokautista ja vuodenaikaista vaihtelua verrattuna häiriöisiin ajanjaksoihin. Johdannossa on katsaus magneetikentän häiriöisyyden syihin, joiden alkuperä liittyy auringonpilkuissa tapahtuviin muutoksiin. Mukana on myös ajan modernit teoriat magneettisten myrskyjen syistä norjalaisten Kristian Birkelandin ja Carl Störmerin hiukkasmallien mukaisesti maan magneetikenttään syntyvinä sähköisinä pyörteinä. Tutkimuksen pohjana olleet laajat tilastolliset analyysit oli tehnyt Siiri Keränen. Kaikkiaan kirjoitus on ikään kuin valmisteleva työ laajempaan tutkimukseen Sodankylässä havaituista magneetikentän vaihteluista. Magneettisen häiriöisyyden aikavaihteluista Keränen viittaa saksalaisten tutkijoiden saamiin tuloksiin siitä, että häiriöisyyden aikavaihtelut voivat esiintyä aivan heikkoina "elementääriaaltona". Tässä oli idullaan 1930-luvulla alkanut mikropulsaatioiden tutkimus, johon Sodankylän silloinen johtaja Eyvind Sucksdorff (1899–1955) antoi oman lisäpanoksensa alan muiden tutkijoiden ohella.

Jaakko ja Siiri Keränen isännöivät Sodankylässä Tähtelän observatoriota neljä vuotta. Syistä, jotka on lähemmin kerrottu Laatikkotekstissä L1, he muuttivat pois Sodankylästä Helsinkiin. Alunperin muutto oli ajateltu vain tilapäiseksi ja viransijaiseksi Tiedeakatemian palkkasi nuoren maisteri Heikki Lindforsin, joka ehti olla virassaan vain muutaman kuukauden, kun maassamme puhkesi kansalaissota. Lindfors lähti sotaan ja sai siellä surmansa (ks. Laatikkoteksti L2). Observatorion toiminta oli muutaman kuukauden keskeytyksissä, kunnes uudeksi isännäksi saatiin FM Elias Levanto (1890–1970). Olot observatoriossa olivat vaikeat ja johtajan palkka ei riittänyt elämiseen ajan kalleuden vuoksi. Levanto jätti observatorion johtajan tehtävät jo kolmen vuoden kuluttua ja siirtyi oppikoulun opettajaksi Vaasaan. Seuraava johtaja oli FM Heikki Hyyryläinen, joka toimi virassaan vuoteen 1927 asti siirtyäkseen sen jälkeen koulualalle Kajaaniin. Näiden kahden johtajan hallintokaudella observatoriotehävät tulivat hoidettua perustasolla, mutta varoja toimintojen kehittämiseen ei Tiedeakatemiolla ollut.

<sup>13</sup> Onni Tarjanne toimi Teknillisessä korkeakoulussa rakennusopin professorina. Hänen suunnittelemaansa asuinrakennuksia ja julkisia tiloja on Helsingissä toistakymmentä. Tunnetuin niistä on Suomen Kansallisteatteri vuodelta 1902.

## L1

## JAAKKO KERÄNEN – SODANKYLÄN OBSERVATORION ENSIMMÄINEN JOHTAJA 1913–1917

Jaakko Keränen syntyi 1.6.1883 Paltamon Mieslahdessa laajaan kainuulaiseen talonpoikaissukuun. Jaakko Keränen isä oli maanviljelijä Aadolf Taavetinpoika Keränen (1841–1915) ja äiti Anna Erkintytär Leinonen (1842–1920).

Keränen aloitti koulunkäyntinsä Paltaniemen kansakoulussa vuonna 1891 ja suoritti ylioppilastutkinnon vuonna 1904 Oulun lyseosta. Hän opiskeli Helsingin yliopistossa matemaattis-fysikaalisia aineita ja valmistui filosofian kandidaatiksi vuonna 1910 pääaineenaan fysiikka. Keränen nimitettiin Meteorologisen keskuslaitoksen (nykyisin Ilmatieteen laitos) magneetikoksi vuonna 1911 tehtäväänsä osallistua Suomen alueen magneettiseen kartoitukseen. Tehtäviin tarvittavan koulutuksen Keränen hankki Venäjältä Pavlovskin observatoriossa ja Saksassa Potsdamin magneettisessa instituutissa.

Jaakko Keränen valittiin Suomalaisen Tiedeakatemian Sodankylään perustaman magneettisen observatorion ensimmäiseksi johtajaksi vuonna 1913, missä toimessa hän oli yli neljä vuotta. Sodankylästä Keränen siirtyi Geodeettisen laitoksen palvelukseen 1918–1921.



Aviopari Siiri ja Jaakko Keränen 1920-luvun alussa. Jaakko oli Sodankylän observatorion ensimmäinen johtaja ja Siiri observatorion assistentti 1913–1917. Siiri Keränen teki lähes kaikki magneettisten havaintojen työlääät muokkaustyöt vuosikirjoiksi ja merkittävän osan niiden vaatimista mittauksista. Jaakko Keränen työskennellessä kesäisin Lapin magneettisissa kartoitustöissä Siiri Keränen toimi observatorion vt. johtajana. (KUVA: Ilmatieteen laitos)

Keräsen johdolla saatiin päätökseen Ilmatieteellisen keskuslaitoksen hanke, koko Suomen alueen magneettinen kartoitus, joka käsitti noin 1000 mittapistettä. Kartoitustyö kesti melkein 20 vuotta. Maamme magneettiset kartat valmistuivat vuonna 1933 Keräsen julkaisemana (Keränen, 1933).

Vuonna 1921 Keränen nimitettiin Meteorologisen keskuslaitoksen sääosaston johtajaksi, ja vuonna 1933 koko laitoksen johtajaksi, missä tehtävässä hän oli vuoteen 1953 saakka.

Jaakko Keräsen ensimmäinen väitöskirja lisensiaatin tutkintoa varten vuodelta 1921 hylättiin, vaikka tutkimusta arvostettiin ulkomailla. Vuonna 1924 hän teki uuden väitöskirjan, jonka aihe liittyi Keräsen Lapissa vuosina 1911–1923 tekemiin magneettisiin mittauksiin. Keränen sai filosofian tohtorin arvon Helsingin yliopistossa vuonna 1927. Hän toimi myös saman yliopiston geofysiikan dosenttina (1930–1958) opetusalananaan maatalousmeteorologia.

Toisen kansainvälisen polaarivuoden aikana 1932–1933 Ilmatieteellinen keskuslaitos osallistui Keräsen johdolla laajoihin valtakunnallisiin meteorologisiin ja geofysikaalisiin havainto-ohjelmiin, joista merkittävä osa toteutettiin Sodankylän observatoriossa.

Keräsen tutkimusalueiden painopiste 1920-luvulla siirtyi magnetismista kohti ilmastollisia kohteita, muun muassa routatutkimuksiin ja klimatologisiin tutkimushankkeisiin, jotka saivat osakseen myös merkittävää kansainvälistä huomiota. Jatkosodassa 1941–1944 Keränen johti Ilmatieteellisen keskuslaitoksen toimintaa osana Puolustusvoimien koko maan kattavaa sääpalvelua armeijan pää-majassa Mikkelissä.

Sodan jälkeen Jaakko Keränen vaikutti merkittävästi Lapin sodassa tuhoutun Sodankylän magneettisen observatorion uudelleenrakentamiseen. Keränen oli myös keskeinen henkilö, kun Ilmatieteellisen keskuslaitoksen Sodankylän aerologinen observatorio perustettiin vuonna 1949 magneettisen observatorion viereen Tähtelän alueelle.

Jaakko Keränen oli aktiivisesti mukana Suomalaisessa Tiedeakatemiassa, jonne hänet valittiin vuonna 1926. Keränen oli Tiedeakatemian hallituksen jäsen ja rahastonhoitaja 1941–1954. Sodankylän magneettisen observatorion hallinnossa Keränen oli Suomalaisen Tiedeakatemian observatoriotoimikunnan sihteeri 1919–1945 ja puheenjohtaja 1953–1963. Keränen oli myös kansainvälisen Geodeettis-geofysikaalisen

unionin (IUGG, International Union of Geodesy and Geophysics) aktiivinen jäsen ja unionin magneettisen kartoituskomission kunniapuheenjohtaja (1954). Hän oli lisäksi IUGG:n kansallisen komitean jäsen, sihteeri ja puheenjohtaja 1930–1960.

Jaakko Keränen oli Suomen kansan laajojen kerrostuntema ja rakastama ilmatieteen symboli, Sää-Keränen, Suomen Sääprofessori tai Sääprofeetta. Hänen lukuisat säätä ja sään ennustamista koskevat kirjoituksensa sanoma- ja aikakauslehdissä sekä radiossa tekivät ilmatieteet tunnetuksi suurelle yleisölle 1920-luvulta 1950-luvulle saakka.

Tieteellisiltä ansioiltaan Jaakko Keränen ei nousut sellaiseen pysyvään maailmanmaineeseen kuin hänen nuoremmat kollegansa Vilho Väisälä (1889–1969) kokeellisen meteorologian alalla ja Erik Palmén (1898–1985) teoreettisessa meteorologiassa. Hänen uraansa tiedemiehenä, Ilmatieteellisen keskuslaitoksen johtajana sekä aktiivista osallistumisestaan erilaisiin tiedeorganisaatioihin kotimaassa ja ulkomailla on kuitenkin pidettävä erittäin merkittävänä ja ansiokkaana. Keräsen tieteellinen tuotanto käsittää noin 170 julkaisua, jotka liittyvät lähinnä geomagneettisiin ja meteorologisiin aiheisiin.

Jaakko Keräsen yli 20 vuotta kestäneen johtajakauden aikana Ilmatieteellisen keskuslaitoksen tehtäväalue laajeni merkittävästi ja henkilökunnan määrä kasvoi noin kymmenkertaiseksi. Keräsen aikaansaannoksiin kuuluivat muun muassa Nurmijärven geofysiikan observatorion toimintojen käynnistäminen 1950-luvun alussa.

Keräsen puoliso oli vuodesta 1914 lähtien filosofian maisteri Siiri Pajari (1887–1968). Siiri Keränen työskenteli assistenttina Sodankylän magneettisessa observatoriossa ja sittemmin Ilmatieteellisessä keskuslaitoksessa. Hän teki valtaosan Jaakko Keräsen tutkimusaineistojen vaativista muokkaus- ja laskutyöstä ennen niiden lopullista julkaisua.

Siiri ja Jaakko Keräsellä oli viisi lasta. Heistä kaksi vanhinta poikaa kaatui Talvisodassa 1939–1940.

Jaakko Keränen kuoli Helsingissä vuonna 1979 korkeassa 96 vuoden iässä.

## L2

## TÄHTELÄN KOHTALONVUODET SUOMEN KANSALAISSODAN AIKANA

### Vaikeat sotavuodet 1914–1918

Kun Sodankylän observatorio, Tähtelä, aloitti havaintotyönsä vuoden 1914 alussa, laitoksen taloudellinen tila oli hyvä. Toimintaan oli saatu merkittäviä yksityisiä lahjoituksia ja kolmen vuoden valtionapu. Näillä varoilla voitiin ylläpitää korkeatasoista havaintotoimintaa magnetismin ja meteorologian alalla, vaikka henkilökunnan määrä oli vain kolme: johtaja Jaakko Keränen ja hänen assistenttinsa Siiri Keränen sekä vahtimestari Adiel Ahonen. Ajoittain havaintoaineistojen tilastolliseen käsittelyyn palkattiin tilapäisiä laskuapulaisia.

Observatorion rakennukset olivat uusia, mutta vaativat viimeistelyä ja korjauksia. Johtajan perhe ja vahtimestari asuivat samassa rakennuksessa, joten tilausta oli jo alunperin. Ahtaus vain lisääntyi, kun Keräsilä tuli perheenisästä<sup>14</sup> vuonna 1915 ja 1917.

Ensimmäinen maailmansota alkoi Euroopassa elokuussa 1914. Observatorio sijaitsi kaukana kaikis-

ta mahdollisista sotatoimista Suomen alueella, joten havaintorutiinit sujuivat ilman häiriöitä. Tilanne Suomessa muuttui jo muutaman vuoden kuluttua, kun sodan johdosta taloudellinen tilanne huononi maassamme. Se näkyi rahan arvon nopeana alenemisena ja elintarvikkeiden ja muiden välttämättömyystarvikkeiden hintojen nousuina. Observatorion käyttövarat ja palkkamenot eivät seuranneet inflaation vauhdissa. Vuonna 1915 näytti siltä, että observatorion valtionapu vuodelle 1916 jää saamatta, jolloin observatorion toimintoja olisi pitänyt supistaa merkittävästi ja ympärivuotinen toiminta olisi pitänyt keskeyttää. Meteorologinen keskuslaitos oli jo valmistautunut siirtämään observatorion kokonaan oman budjettinsa piiriin. Valtionapu kuitenkin myönnettiin, joskin paljon anottua pienempänä eikä se vastannut todellisia kustannuksia kuin osittain.

Venäjän lokakuun 1917 vallankumouksen seurauksena elintarviketilanne huononi maassamme romahdusmaisesti, kun tuontiviljan tulo Venäjältä tyrehtyi täysin. Suomi ei ollut omavarainen leipäviljan suhteen ja oli siksi täysin Venäjältä tulevan tuonnin varassa. Inflaation tuloksena rahan arvo putosi 90 % sotaa edeltävästä tasosta. Jaakko Keränen kirjoitti Sodankylästä Helsinkiin esimiehelleen Ilmatieteellisen keskuslaitoksen johtajalle Gustaf Melanderille tavanomaisessa kuukausiraportissaan, että "täällä syödään yleisesti pettuleipää". Monin paikoin kärsittiin suoranaista nälänhädästä. Keränen lähetti Lapista säännöllisesti poronlihaa Melanderille rahtikuljetuksena kymmeniä kiloja kerrallaan ja näillä ilmeisesti autettiin ruokapulasta kärsivää keskuslaitoksen henkilökuntaa.

Sodankylän vaikeutuneiden elinolojen ja taloudellisen tilan huonontumisen vuoksi Keräset päättivät muuttaa pois Sodankylästä Helsinkiin kahden alle kaksivuotiaan lapsensa kanssa. Suunnitelmissa oli palata takaisin Sodankylään olojen normalisoiduttua. Muuttopäätökseen vaikutti vielä Jaakon väitöskirja, jonka viimeistely olisi parempi tehdä Helsingissä. Jaakko Keränen anoi virkavapautta johtajan toimestaan keväällä 1917. Gustaf Melander sai Keräsen viransijaiseksi nuoren 22-vuotiaan maisteri Heikki Lindforsin (1894–1918), joka muutti Sodankylään kesällä 1917 oppiakseen johtajalle kuuluvat observatoriotehtävät. Keräset muuttivat Sodankylästä syyskuussa 1917 ja observatorio jäi Lindforsin ja vahtimestari Henrik

Sodankylän observatorion vt. johtaja Heikki Lindfors (1894–1918). Lindfors ei ehtinyt olla Tähtelässä kuin puolisen vuotta, kun hän lähti Sodankylästä Tampereen taisteluihin valkoisten joukkoihin Suomen kansalaissodassa vuonna 1918. Hän sai siellä surmansa. (Kuva: SGO)



Gummeruksen (1874–1937) vastuulle. Assistenttia ei ollut varaa palkata.

Suomessa yhteiskunnalliset ristiriidat johtivat maan jakoon poliittisin termein ilmaistuna valkoisiin ja punaisiin. Vastakkainasettelu johti kansalaissotaan, joka puhkesi tammikuussa 1918. Sodan erääksi käännekohdaksi muodostui valkoisen armeijan johdolla tapahtunut Tampereen piiritys ja valloitus maaliskuuhuhtikuussa 1918. Sodankylän observatorion vt. johtaja Heikki Lindfors tunsi velvollisuudekseen osallistua taisteluihin kotikaupunkinsa Tampereen valloituksen valkoisten puolella. Hän ja observatorion vahtimestari päättivät lähteä yhdessä rintamalle ja he keskeyttivät observatorion rekisteröinnit ja havainnot. Havaintopäiväkirjaan Lindfors kirjoitti "Toiminta lopetetaan johtajan sotaanlähden vuoksi ja aloitetaan jälleen, kun voitto on saatu". Lindfors kaatui Tampereella Lapinniemen taisteluissa 28.3.1918. Jaakko Keränen kirjoitti Lindforsista lumipeitemittauksia käsittelevän julkaisun esipuheeseen (Keränen, 1921a): "[Lindfors] jatkoi lumimittauksiaan aina siihen viime hetkeen saakka, kun hän päätti, pitkällisen sisäisen kamppailun jälkeen ja korkeimpana velvollisuutenaan, lähteä taisteluihin isänmaan vapauttamiseksi

Idän barbariasta. Tampereen taisteluissa hän sai sankarikuoleman ...".

Kansalaissotaan osallistuivat myös observatorion entiset vahtimestarit Otto Moberg (1869–1951) ja Adiel Ahonen (1883–1938). Edellinen oli mukana Sodankylän valkokaartin esikunnassa ja jälkimmäinen sodassa punaisten puolella. Ahonen pakeni kansalaissodan jälkeen Venäjälle Itä-Karjalaan, missä hänet teloitettiin Stalinin ajan poliittisissa vainoissa vuonna 1938. Myös Tähtelän tuleva johtaja Eyvind Sucksdorff (1899–1955) osallistui keväällä 1918 kansalaissotaan valkoisten joukoissa Karjalan kannaksella.

Lindforsin kuoleman johdosta Tähtelän havaintosarjoihin tuli noin kolmen kuukauden mittainen katkos. Jaakko Keränen käynnisti observatorion rekisteröinnit uudelleen kesällä 1918. Uusi johtaja, Elias Levanto (1890–1970), astui tehtäviinsä alkusyksystä 1918.

Jaakko Keränen siirtyi Ilmatieteellisen keskuslaitoksen tehtävistä paremmin palkattuun työhön Geodeettiselle laitokselle Helsinkiin. Geodeettisissa tehtävissä Keränen oli vuoteen 1921 saakka, jolloin hänet valittiin Ilmatieteellisen keskuslaitoksen sääosaston johtajaksi (Nevanlinna, 2014b).

<sup>14</sup> Anna-Liisa (1915–2004) ja Olli (1917–1939)



## L5

## EYVIND SUCKSDORFF – SODANKYLÄN OBSERVATORION JOHTAJA 1927–1945

Eyvind Sucksdorff syntyi Vesannolla Pohjois-Savossa vuonna 1899. Isä oli Jean Sucksdorff (1866–1936) ja äiti Aino Maria Lönn (1876–1952). Perhe muutti vuonna 1903 Jääskeen Karjalan kannakselle, missä Jean Sucksdorff toimi apteekkarina kuolemaansa saakka. Puoliso vuonna 1927 lääketieteen kandidaatti Annikki Santaholma (1904–1986). Eyvind Sucksdorff kuoli Helsingissä vuonna 1955.

Eyvind Sucksdorff tuli ylioppilaaksi Viipurin lyseosta vuonna 1918. Aikaisemmin samana vuonna Sucksdorff oli osallistunut kansalaissotaan valkoisten puolella Vuoksen rintamalla Karjalan kannaksella. Hän aloitti tähtitieteen, fysiikan ja matematiikan opinnot Turun yliopistossa prof. Yrjö Väisälän ohjauksessa. Filosofian maisteri vuonna 1933 ja tohtori vuonna 1943. Helsingin yliopiston geofysiikan dosentti 1949. Ilmatieteellisen keskuslaitoksen vanhempi geofysikko 1945–1955.

Suomalaisen Tiedeakatemian observatoriotoimikunta valitsi Eyvind Sucksdorffin Sodankylän observatorion johtajaksi vuonna 1927. Observatoriolla oli silloin takanaan 13 toimintavuotta ja neljä johtajaa. Se oli silloin myös ainoa pysyvä tutkimusasema napapiirin pohjoispuolella. Observatorio oli saavuttanut alan tiedeyhteisössä arvostetun aseman. Sucksdorffin yhteistyö norjalaisten revontulitutkijoiden (mm. Karl Störmer) ja tanskalaisten geomagneetikkojen (mm. Dan la Cour) kanssa toi Sodankylään pian uusia yhteistyömuotoja revontulikuvauksen ja magneettisten

kojeiden kehittelyn kautta jo 1920-luvun lopulla. Toinen kansainvälinen polaarivuosi merkitsi Sodankylän observatoriolle lisää tehtäviä, kun laitoksesta tehtiin kansainvälinen polaarivuositutkijoiden harjoittelupaikka magneettisille havainnoille. Sucksdorff kykeni selviytymään näistä uusista tehtävistä ja suorittamaan ne taitavasti muutamien apulaistensa kanssa. Merkittävin ja pitkäaikaisin tuki uusiin tehtäviin tuli observatorion assistentin kautta. Kyseessä oli Eyvind Sucksdorffin vaimo Annikki, joka monin tavoin osallistui observatorion vaativiin havaintotehtäviin ja mitaustulosten tilastollisiin analyysihin.

Polaarivuoden aktivoittamana Sodankylän observatorion toimiala oli laajentunut merkittävästi uusille geofysiikan aloille. Niitä olivat perinteisten magneettisten ja meteorologisten havaintojen lisäksi mm. ilma- ja maasähköiset mittaukset, erilaiset fotometriset havainnot ilmakehän säteilystä sekä revontulikuvaukset ja -havainnot. Sodankylän observatorio oli kehittynyt Eyvind Sucksdorffin johdolla magneettisesta observatoriosta laaja-alaiseksi geofysiikan observatorioksi, jolla oli merkittäviä yhteistyöhankkeita pohjoismaisten tutkimuslaitosten kanssa. Osoituksena observatorion vakiintuneesta kansainvälisestä asemasta kertoo se, että ennen toisen maailmansodan puhkeamista 1930-luvun lopulla observatorio ylläpiti säännöllistä julkaisujen vaihtoa noin sadan ulkomaisen tieteellisen laitoksen sekä yksittäisten tutkijoiden kanssa.

Observatorion havaintorutiinien ohella Sucksdorff harjoitti myös itsenäistä tutkimusta. Siihen kuuluivat perustavanlaatuiset havainnot magneettisista mikropulsaatioista (Sucksdorff, 1936) ja magneettisten kojeiden laitekehittelyt (La Cour & Sucksdorff, 1936). Sucksdorffin väitöskirja geomagneettisen häiriöisyyden aikasarjoista Sodankylän havainnoista analysoituina ilmestyi vuonna 1942 (Sucksdorff, 1942). Voidaan hyvällä syyllä sanoa, että Sucksdorffin tieteelliset työt mikropulsaatioista ja magneettisesta aktiivisuudesta loivat pohjan alan myöhemmälle kotimaiselle tutkimukselle, joka varsinkin mikropulsaatioiden osalta on kehittynyt osaksi kansainvälistä koulukuntaa.

Kun suomalainen Tiedeakatemia päätti vuoden 1944 lopulla ryhtyä observatorion jälleenrakennustyöhön, Sucksdorff toimi erittäin aktiivisesti suunnitelmien toteuttamiseksi observatoriotoimikunnassa,

jonka sihteeriksi hänet oli valittu vuonna 1946. Hän hankki täditään arkkitehti Wivi Lönniltä (1872–1966) lahjoituksena uuden observatoriorakennuksen piirustukset. Kun syksyllä 1945 observatorion magneettiset kojerakennukset oli saatu kuntoon, magneettiset rekisteröinnit käynnistettiin uudelleen tammiukuun alussa vuonna 1946.

Vuonna 1945 Eyvind Sucksdorff nimitettiin Ilmatieteellisen keskuslaitoksen vasta perustetun vanhemman meteorologin virkaan, työalanaan geofysiikka ja erityisesti geomagnetismi. Hänen vastuulleen tuli koko Suomen alueen magneettisten kartoituksen jatkaminen siitä, mihin työ oli saatettu Ilmatieteellisen keskuslaitoksen hankkeena 1930-luvun alussa Jaakko Keräsen johdolla. Sucksdorff oli ollut mukana suomalais-ruotsalaisessa mittausretkikunnassa Pohjanlahden magneettisissa mittauksissa ennen sotaa vuonna 1939 ja uudelleen vuonna 1950.

Eyvind Sucksdorffin asiantuntemus oli arvossaan, kun Ilmatieteellinen keskuslaitos oli perustamassa uutta magneettista observatoriota Nurmijärvelle Etelä-Suomeen aivan 1950-luvun alussa. Hän sai ennen kuolemaansa observatorion ensimmäisen toimintavuoden (1953) aineiston julkaistuksi.

Sucksdorff osallistui myös kansainvälisten ja ko-

timaisten tiedejärjestöjen työhön. Hän oli Suomen edustajana kansainvälisessä Geodeettis-geofysiikaalissa unionissa (IUGG) ja sen alajärjestössä IAGA:ssa (International Association of Geomagnetism and Aeronomy). Sucksdorff toimi useassa eri IAGA:n työryhmissä aktiivisena jäsenenä. Hän oli myös Suomen Geodeettis-geofysiikaalisen kansalliskomitean sihteeri vuodesta 1947 lähtien ja kansainvälisen geofysiikan vuoden (1957–1958) komitean jäsen.

Eyvind Sucksdorff valittiin Suomalaisen Tiedeakatemian jäseneksi vuonna 1951. Sucksdorffin harrastuksiin kuuluivat tähtitiede ja puutarhanhoito. Hän oli tähtitieteellisen yhdistyksen URSA:n puheenjohtaja vuonna 1947. Puutarhanhoidon alalta Sucksdorff julkaisi kirjan Harrastajan kasvihuone (1948). Tähtitieteestä hän kirjoitti useita yleistajuisia kirjoituksia ja suomensi alan kirjoja alan harrastajien käyttöön.

Eyvind Sucksdorff kuoli Helsingissä 19.10.1955 vaikean sairauden jälkiseurauksiin. Hänessä suomalainen tiedeyhteisö menetti ainoan varsinaisen geomagneetikon, joka lähes 30 vuoden kuluessa oli suorittanut arvokkaan tieteellisen työuran Suomalaisen Tiedeakatemian observatorion johtajana ja sitten Ilmatieteellisen keskuslaitoksen geofysikkona sekä geomagnetismin kansainvälisessä yhteistyössä.



Annikki ja Eyvind Sucksdorff Sodankylässä toisen polaarivuoden aikana vuonna 1932. Kuva on otettu Kitisenjoen observatorion puoleisella rannalla. Annikilla on yllään kansallispuke ja Eyvindillä on päässään Suomen Autonomi Klubin (SAK) koppelakki. Sucksdorffit aloittavat työnsä Sodankylän observatoriossa vuonna 1927 ja työ jatkui vuoteen 1945 saakka. Eyvind oli observatorion johtaja ja Annikki assistentti. Heille syntyi Sodankylässä kolme lasta: Christian (1928), Esra (1929) ja Liisa (1931). (Kuva: Lyyli Takki/Työväen Arkisto)

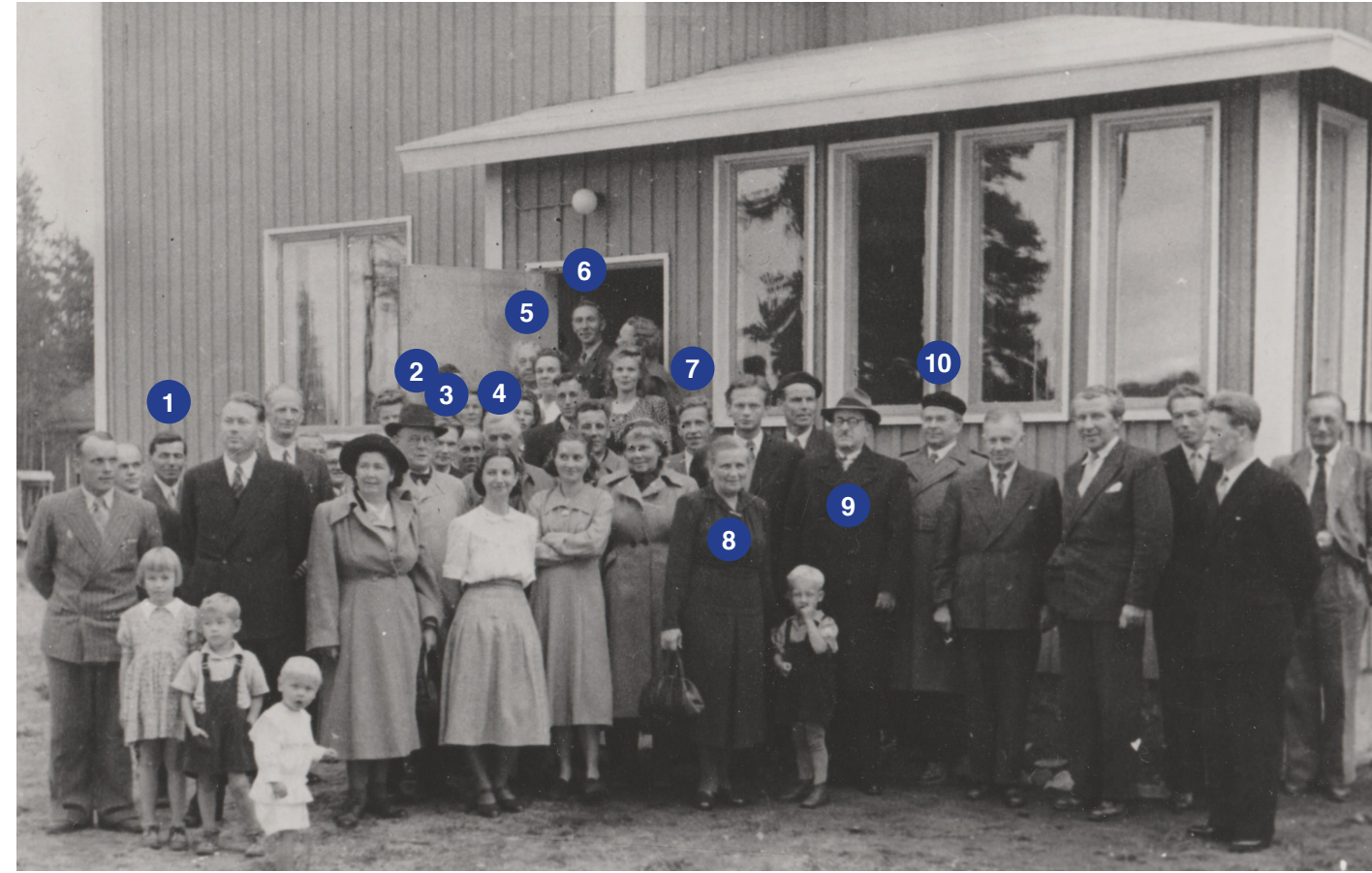
Vuonna 1927 observatorion johtoon tuli Eyvind Sucksdorff, joka oli tähtitieteen ja fysiikan opiskelija Turun yliopistosta ja Yrjö Väisälän oppilas. Hänen johtajakautensa kesti 18 vuotta ja siitä tuli observatorion kannalta erittäin menestyksellinen. Vuosiksi 1932–1933 oli päätetty järjestää toinen kansainvälinen polaarivuosi. Tiedeakatemia sai vihdoinkin tilaisuuden ryhtyä toden teolla kehittämään observatoriota ja Sucksdorff kykeni toteuttamaan suunnitelmat. (Eyvind Sucksdorffin elämäntyöstä tarkemmin laatikkotekstissä L3).

### Sodankylän observatorio toisen maailmansodan jälkeen

Eyvind Sucksdorff jätti johtotehtävänsä Sodankylän observatoriossa vuoden 1945 alussa. Vanha observatorio oli raunioina, mutta rakennus- ja havaintotyöt oli saatu käyntiin ainakin osittain. Sucksdorffin tilalle saatiin observatorion uudeksi johtajaksi FM Maunu Seppänen (1901–1976), joka hoiti virkaansa noin kahden vuoden ajan vuoden 1948 alkuun. Seppäsen tilalle tuli FM Tauno Hilpelä (1920–1952), mutta vaikea sairaus pakotti hänet luopumaan tehtävistään jo vuonna 1950. Seppäsen ja Hilpelän ansiota oli kuitenkin se, että he tukivat ja edistivät observatorion jälleenrakennustyötä merkittävästi. Eyvind Sucksdorffin avulla saatiin observatorion magneettiset rekisteröinnit käyntiin vuoden 1946 alussa. Rakennusvaihe huipentui kesällä 1950, kun observatorion uusi päärakennus valmistui. Näin yli viisi vuotta kestänyt jälleenrakennustyö oli saatu päätökseen ja observatorion henkilökunnalla oli nyt paremmat mahdollisuudet tehtäviensä hoitoon uusissa työ- ja asuintiloissa. Rakennuksen vihkiäisjuhlien yhteydessä järjestettiin myös Pohjoismaiden geomagneetikkojen kokous ensimmäistä kertaa sodan jälkeen. Näin uudistunut Tähtelän observatorio otettiin ikään kuin takaisin pohjoismaiseen tiedeyhteisöön.

Observatorion hallinnossa tapahtui muutos, kun observatoriotoimikunnan puheenjohtaja Geodeettisen laitoksen esimies prof. Ilmari Bonsdorff kuoli vuonna 1950. Hänen tilalleen tuli itse-oikeutetusti Jaakko Keränen ja sihteeriksi Eyvind Sucksdorff. Sihteerin kuoleman jälkeen vuonna 1955 Keränen joutui ottamaan sekä sihteerin että puheenjohtajan työt itselleen useiksi vuosiksi eteenpäin. Näihin tehtäviin Keräsellä riitti aikaa, koska hän oli jäänyt eläkkeelle Ilmatieteellisen keskuslaitoksen johtajan virasta vuonna 1953. Suomen geofysiikan tiedeyhteisössä geomagnetismin edustus oli tuolloin lähinnä Keräsen varassa.

Suomalaisen Tiedeakatemian observatorion meteorologiset havainnot siirrettiin vuonna 1949 perustetulle Ilmatieteellisen keskuslaitoksen uudelle aerologiselle asemalle magneettisen observatorion läheisyyteen. Kun vuonna 1950 uusi johtaja FM Eero Kataja (1927–2014) otti tehtävänsä vastaan, observatorio-ohjelmaan kuuluivat vain magneettiset rekisteröinnit ja havainnot sekä magneettisten vuosikirjojen laskentatyöt. Ulkonaiset olosuhteet olivat kymmenen vuoden sota- ja jälleenrakennuskauden jälkeen rauhanomaiset eivätkä asettaneet henkilökunnalle läheskään sellaisia vaatimuksia kuin edeltäjillä oli ollut.



Sodankylän observatorion uuden päärakennuksen vihkiäisilaisuuden vieraita 2.9.1950.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Akseli Paarman (1904–2000), Lapin jälleenrakennuslautakunnan puheenjohtaja, kansanedustaja 1958–1970.                                   | 7. Tauno Hilpelä (1920–1952), observatorion johtaja 1948–1950.   |
| 2. Pekka Myrberg (1892–1976), Suomalaisen Tiedeakatemian esimies 1950–1951, Helsingin yliopiston matematiikan professori.                  | 8. Siiri Keränen (1889–1968), observatorion assistentti 1913–1917.   |
| 3. Eero Kataja (1927–2014), Sodankylän geofysiikan observatorion johtaja 1950–1992.  | 9. Emil Öhmann (1894–1984), Suomalaisen Tiedeakatemian yleissihteerin 1948–1964, Helsingin yliopiston germaanisten kielten professori. |
| 4. Jaakko Keränen (1883–1979), Sodankylän observatorion ensimmäinen johtaja 1913–1917, Ilmatieteellisen keskuslaitoksen johtaja 1931–1953. | 10. Vilho Väisälä (1889–1969), Helsingin yliopiston meteorologian professori, Vaisala Oy:n perustaja.                                  |
| 5. Arkkitehti Wivi (Olivia) Lönn (1872–1966). Hän oli laatinut päärakennuksen piirustukset.  |  |
| 6. Eyvind Sucksdorff (1899–1955), observatorion johtaja 1927–1945.   |  |

Vieraiden joukossa oli myös alan pohjoismaisia tutkijoita ja Sodankylän observatorioiden muuta henkilökuntaa perheineen. (KUVA: Ilmatieteen laitos)



## L4

## EERO KATAJA - SODANKYLÄN OBSERVATORION JOHTAJA 1950–1992



Eero Kataja luennoimassa Ilmatieteen laitoksen Nurmijärven observatoriossa 1970-luvun lopulla. (Kuva: Ilmatieteen laitos)

Eero Kataja syntyi Parkanosssa vuonna 1927. Hänen vanhempansa olivat kansakoulun opettajat Arvo Kataja ja Elli Syväne. Kataja kirjoitti ylioppilaaksi vuonna 1945, FK 1950 Turun yliopisto (matematiikka ja tähtitiede). FL 1972 (Helsingin yliopisto) ja FT (h.c.) 1985 (Helsingin yliopisto).

Eero Kataja valittiin Suomalaisen Tiedeakatemian Sodankylän magneettisen observatorion johtajaksi syksyllä 1950 Tauno Hilpelän jälkeen. Observatorion henkilökuntaan valittiin samalla myös Katajan ensimmäinen puoliso Hilikka Kataja, joka työskenteli observatoriossa vuoteen 1955 saakka. Hänen toinen puolisonsa, Airi Kataja (1926–) hoiti observatorion seismistä asemaa 1956–1991.

Eero Katajan yli 40 vuotta kestäneen johtajakauden aikana Sodankylän observatorio henkilömäärä kasvoi 5–10-kertaiseksi. Katajan keskeisin tehtävä observatorion ylimpänä hallintomiehenä oli toiminnan-, talous- ja henkilöstöjohtajan asema kasvavassa ja monipuolistuvassa observatoriossa. Hän ylläpiti kontakteja observatoriotoimikuntaan, jonka kanssa luotiin observatorion kehityslinjat eteenpäin. Kataja osallistui pohjoismaiseen yhteistyöhön, erityisesti geomagnetismin alalla, ja Sodankylässä järjestettiin säännöllisesti alan tieteellisiä ja havaintoihin liittyviä kokouksia. Kataja oli myös aktiivinen osallistuja kansainvälisen tieteellisen järjestön IUGG:n ja IAGA:n toiminnoissa. Kotimaassa Kataja vaikutti pitkään Lapin tiedeseurassa ja Oulun yliopiston luennoitsijana.

Eero Katajan tieteelliset tutkimukset kohdistuivat avaruussäähän ja siinä erityisesti geomagneettisen aktiivisuuden määrittelyihin ja laskentaan observatorioiden magneettisista rekisteröinneistä. Tämä tutkimusalue oli Sodankylässä alkanut jo Eyvind Sucksdorffin kaudella 1930-luvulla. Kataja teki tutkimuksistaan lisensiaatintyön 1970-luvulla ja piti aiheesta lukuisia esitelmää eri kokouksissa aina 1950-luvulta lähtien sekä kirjoitti tieteellisiä tutkimuksia alan julkaisusarjoissa.

Ansioistaan Sodankylän geofysiikan observatorion hyväksi Eero Katajalle myönnettiin kunniaatohtorin arvo Helsingin yliopiston filosofisen tiedekunnan promootiossa vuonna 1985.

### Kansainvälinen geofysiikan vuosi (IGY) 1957–1958

Toinen polaarivuosi 1932–1933 merkitsi Sodankylän observatoriolle uudenlaista osallistumista geomagnetismin ja tiettyjen geofysiikan tutkimusalojen osalta entistä kiinteämpää yhteyttä kansainväliseen tiedeyhteisöön. Ajatuksen erityisestä kansainvälisestä geofysiikan vuodesta aikaisempien polaarivuosien jatkoksi esittivät eräät alan maailman johtavat tutkijat (mm. Sydney Chapman ja James Van Allen) aivan 1950-luvun alussa. Tavoitteena oli käynnistää laaja-alainen geofysiikan tutkimusohjelman, missä kohteena olisivat kaikki maapallon alueet, ei vain napaseudut kuten polaarivuosina 1882–1883 ja 1932–1933 (Seppinen, 2004). Uusia havainto- ja tutkimuskohteita olivat maapallon ilmakehän ylimmät kerrokset, ionosfääri ja magnetosfääri. Radioaaltojen käyttö ionisoituneen yläilmakehän tutkimuksiin oli kehittynyt 1930-luvulta lähtien nopeasti. Sodassa käytetyt tutkamenetelmät tarjosivat uutta teknologiaa nyt myös tieteellisiin kohteisiin. Ionosfäärin systemaattinen tutkimus olikin Geofysiikan vuoden keskeisiä tehtäviä. Geofysiikan vuodeksi oli suunnitteilla myös napa-alueet kattavat optiset havaintolaitteet koordinoituja revontulikuvauksia varten. Vielä ei täysin ymmärretty miten revontuli-ilmiö ja siihen liittyvät magneettiset häiriöt kokonaisuutena toimivat magneettisten myrskyjen aikana. Selitysketjuun tarvittiin myös Auringon hiukkaspurkauksien osuus revontulien ja magneettisten häiriöiden yhteydessä. Nykyään puhuttaisiin avaruussään kokonaisuudesta. Kaikkiaan geofysiikan vuoden ohjelmassa oli yli 10 geofysikaalista kohdetta.

Tutkien lisäksi aivan uutena mahdollisuutena maapallon lähiavaruuden tutkimuksessa olivat raketit ja tekokuut. Ensimmäisen tekokuun maata kiertävälle radalle laukaisi Neuvostoliitto lokakuussa 1957 ja USA seuraavana vuonna. Geofysiikan tutkimus ja havainnot siirtyivät satelliittien myötä avaruusaikaan.

Geofysiikan vuoden maailmanlaajuinen organisointi tapahtui YK:n alaisen Kansainvälisen tiedeneuvoston (ICSU, International Council of Scientific Unions) puitteissa. ICSU:n alajärjestöt, kuten esimerkiksi kansainvälinen geodeettis-geofysikaalinen unioni (IUGG), kansainvälinen radiotieteen unioni (URSI) ja Maailman ilmatieteellinen järjestö (WMO) hoitivat geofysiikan vuoden tieteellisen ohjelman suunnittelun omien alajärjestöjensä kanssa. Virallisesti kansainvälinen geofysiikan vuosi<sup>15</sup> otettiin ohjelmaan ICSU:n kokouksessa vuonna 1952. Silloin sovittiin, että tutkimusvuosi käsittäisi 18 kuukauden jakson 1.7.1957–31.12.1958. IGY:n pääkoordinaattori oli maineikas magnetosfäärin tutkija englantilainen Sydney Chapman (1888–1970), joka oli ollut keskeisesti suunnittelemassa jo toisen polaarivuoden ohjelmaa. Lopulta kaikkiaan 67 valtiota oli mukana IGY:ssä. Yksittäisten tutkijoiden määrä nousi useisiin kymmeneen tuhansiin. Suurista maista ainoastaan Kiina ei osallistunut ohjelmaan.

<sup>15</sup> Kansainvälinen geofysiikan vuosi tunnettiin lyhenteellä IGY eli International Geophysical Year.

Suomessa IGY-toimintoja koordinoi vuonna 1953 asetettu komitea, jonka puheenjohtajana oli Jaakko Keränen ja sihteerinä Eyvind Sucksdorff ja tämän kuoleman jälkeen Lauri A. Vuorela<sup>16</sup> (1913–1999). Opetusministeriö myönsi Suomen IGY-hankkeisiin varoja nykyrahassa noin 75 000 euroa. Suurimpia avustuskohteita oli meteorologiassa, meritieteissä ja ionosfääritutkimuksissa (Keränen, 1956; Seppinen, 2004).

Sodankylän observatoriossa valmistauduttiin tuleviin IGY:n mittauksiin huolella jo vuosia ennen geofysiikan vuoden alkua. Jo vuonna 1953 observatorion magneettiset rekisteröintilaitteet ja -rakennukset uusittiin vastaamaan kansainvälisen tiedeyhteisön vaatimustasoa moderneista magneettisista rekisteröinneistä. Revontulikuvaukset aloitettiin Stoffregen-kameralla IGY-vuoden keväällä (ks. Jyrki Mannisen ja Heikki Nevanlinnan kirjoitus aiheesta). Seismisen aseman laitteistoa uusittiin ja saatiin siten rekisteröinnit häiriöttömiksi.

Sodankylän geofysiikan observatorion IGY:n aikaisista toiminnoista on tarkemmat kuvaukset Juhani Oksmanin kirjoituksissa ionosfäärimittausten osalta sekä Eero Katajan ja Elena Kozlovskayan kuvaus seismisistä rekisteröinneistä.

### Keräsen jalanjäljillä Lapin magneettisissa mittauksissa

Ensimmäinen kosketukseni Sodankylän geofysiikan observatorioon tapahtui kesäkuussa 1964. Olin silloin 16-vuotiaana koulupoikana päässyt Ilmatieteelliseen keskuslaitokseen kesätöihin Christian "Krisse" Sucksdorffin magneetikentän mittausryhmän apupojaksi ja havaintojen kirjuriksi.

Sucksdorff kuului avioliittonsa kautta Saxénien lääkärisuvun klaaniin. Toisaalta Saxénit tunsivat hyvin lääkäri-setäni Harri Nevanlinnan (1922–1994). Sucksdorffit ja Saxénit viettivät kesänsä Wetterkullan sukukartanolla ja siellä järjestettyihin pikkujuhliin ja muihin istuntoihin osallistui myös setäni Harri usein. Jossain tällaisessa tilaisuudessa ilmeisesti sovittiin, että pääsen Sucksdorffin mittausryhmään apupoikana kesätöihin. Näin urkeni "hyvä-setä" -verkon kautta yli 40 vuotta kestänyt työurani geomagnetismin ja siihen liittyvien tutkimusalojen kanssa. Mutta sellaisesta kehityskulusta ei minulla tosin tuolloin keväällä 1964 ollut aavistustakaan.

Christian Sucksdorff oli saanut Suomen geomagnetismin tutkimuksen "Nestori" Jaakko Keräselältä ja isältään Eyvindiltä perinnöksi jatkaa koko Suomen kattavia geomagneettisia mittauksia maamme magneettisten karttojen päivityksiä varten. Mittauksissa pioneerityön olivat tehneet pääasiassa Keränen ja Väisälän veljekset Vilho ja Yrjö 1910- ja 1920-luvuilla. Keräsen mittausalue oli Lappi ja muu osa Suomea kuului Väisälöille. Keränen teki mittauksiaan vuodesta 1912 lähtien kesäisin Sodankylän observatorio tukikohtanaan. Hänen toinen väitöskirjansa käsitteli Lapin

<sup>16</sup> Lauri A. Vuorela oli myöhemmin Helsingin yliopiston meteorologian professori 1958–1971 ja sen jälkeen Ilmatieteen laitoksen ylijohtaja 1971–1981.

Matti Kivinen (1924–2010) teodoliitin ääressä magneettisissa mittauksissa Kilpisjärvellä Saanatunturin luona kesällä 1964. (Kuva: Heikki Nevanlinna)



alueen magneettisia mittauksia ja niistä tehtyjä karttoja (Keränen, 1924). Ensimmäiset koko Suomen magneettiset kartat valmistuivat vuonna 1933 (Keränen, 1933), mutta tämän jälkeen mittauksiin palattiin vasta sodan jälkeen 1950-luvun alussa. Työhön tarttui silloin Eyvind Sucksdorff, kun hänet oli nimitetty Sodankylän observatorion johtajan tehtävistä Ilmatieteellisen keskuslaitoksen magneetikoksi vuonna 1945. Kyseessä olivat magneettiset mittaukset niin sanotuilla sekulaaripisteillä, joita oli käytössä ympäri Suomea noin 60. Kun pisteillä mitataan magneetikenttä aina muutaman vuoden väliajoin saadaan selville, miten koko Suomessa magneetikentän sekulaarimuutos on tapahtunut. Korjaamalla tällä muutoksella tiheimmällä hilavälillä (20 x 20 kilometriä) tehtyjä magneetikentän mittausarvoja, joita Keräsen aineistossa oli noin 1000, saadaan magneetikentän tila päivitettyä koko mittausaineistolle. Kun E. ja C. Sucksdorff aloittivat mittaukset sekulaariasemilla 1940-luvun lopulla periaatteena oli, että mittaukset tehdään samoin kuin "Setä Keränen" oli tehnyt vuosikymmeniä aikaisemmin. Mitään syvällistä pohdintaa ei tehty esimerkiksi siitä, kuinka monta sekulaaripistettä tarvitaan, jotta magneetikentän aikamuutos tulisi tilastollisesti riittävällä tarkkuudella määritetyksi koko Suomen alueelta.

Kullakin sekulaaripisteellä mitattiin magneetikentän horisontaalikomponentti ( $H$ ), kompassin poikkeama (eranto) ( $D$ ) ja skalaarinen kokonaiskenttä ( $F$ ). Jokaista mitattavaa komponenttia varten oli oma erikoisinstrumenttinsa. Erantoa varten tarvitaan tietoa oikeasta maantieteellisestä pohjoissuunnasta, joka saatiin tavallisesti aikaisemmilla mittauskerroilla määritetyistä maaston kiintopisteistä (miiri). Tällainen saattoi olla esimerkiksi kaukana näkyvän kirkontornin risti tai muu selkeästi erottuva kohde. Mittaus kesti yleensä 1–2 tuntia. Havaintoajan perusteella laskettiin mittausperiodin jälkeen Helsingissä Nurmijärven ja Sodankylän magneettisten rekiste-



röintien perusteella kunkin sekulaaripisteen mittausarvoille niin sanottu reduktio, jolla havaintojen keskiarvo muutettiin vastaamaan havaintopaikan magneettikentän vuosikeskiarvoa.

## Matka kohti Lappia alkaa

Tarvittavan koulutuksen magneettisiin havaintoihin sain Nurmijärven observatoriossa C. Sucksdorffin ja observatorion johtajan Matti Kivisen opastuksella. Mittausryhmä koostui siis kolmesta henkilöstä: Sucksdorff, Kivinen ja minä. Matkaan lähdettiin laitoksen puolikuntoisella virka-autolla, merkiltään Peugeot 403. Kuljettajana oli koko matkan ajan Krisse Sucksdorff. Lähtöpäivä oli perjantai virka-ajan jälkeen 3.7.1964. Tällöin opin heti, ettei Ilmatieteen laitoksen magneettinen mittausryhmä tuntenut viikonloppua eikä kahdeksan tunnin työpäivää; töitä tehtiin urakalla aamusta iltaan ja Lapissa kesällä jopa öiseen aikaan, kun aurinko ei laskenut maillensa lainkaan.

Ensimmäinen mittauskohde oli Virolahden sekulaaripiste, missä mittaukset tehtiin vielä saman päivän illalla. Kyseessä oli pellon keskellä oleva iso laakea siirtolohkare, johon oli tarkkan mittapaikan merkiksi hakattu risti. Piste oli perustanut vuonna 1911 Elias Hintikka, joka oli silloisen Ilmatieteellisen keskuslaitoksen magneetikko. Kun mittaus oli tehty, matka suuntautui seuraavalle pisteelle, joka oli Ruokolahdella noin 100 km eteenpäin pitkin itärajaa. Näin matka taittui, yksi tai kaksi mittauspistettä päivää kohden. Seuraavina olivat Joensuu, Nurmes, Iisalmi ja Mieslahti Paltamossa. Mieslahden mittapisteen oli perustanut Jaakko Keränen vuonna 1911 kotitalonsa alueelle lähellä Oulujärveä. Keränen itse oli paikalla odottamassa mittausryhmän tuloa. Kun magneettikentät oli saatu mitattua, alkoi tarjoilu, johon kuului kunnan ateria ja kahvit päälle. Emäntänä toimi Jaakon sisar Saara Keränen. Jaakko Keränen oli mielissään, kun hän oli saanut vieraakseen magneetikoryhmän jatkamaan mittauksia talon isännän aloittamalla tiellä. Seuraavat kaksi tuntia menivät Keräsen kertoessa perusteellisesti Sodankylän observatorion perustamisvaiheista, magneettisista mittauksista pitkin Lappia 1910-luvulla ja rajamittauksista Petsamossa Tarton rauhan jälkeen vuonna 1921. Siinä tuli melkoinen annos alan historiaa itse koettuna ja elävästi kerrottuna.

Mieslahdelta matka jatkui kohti Kuusamoja ja sieltä Kemijärvelle. Pudasjärven sekulaaripiste mitattiin 8.7. ja Haukipudas seuraavana päivänä. Viikonloppu vietettiin Oulussa majoittuneena yliopiston opiskelija-asuntolaan Domus Botnican, joka sijaitsi aivan Merikosken voimalaitoksen vieressä kaupungin keskustan tuntumassa. Oulussa tapasimme yliopiston matematiikan professorit Klaus Valan (1930–2000) ja Heikki Haahden (1929–), jotka Krisse Sucksdorff tunsivat vanhastaan.

Lappi oli minulle täysin tuntematonta napapiirin pohjoispuolista aluetta. Kuvittelin, että siellä on vain tuntureita, poroja ja lähes asumattomia erämaita, kaukana kaikesta. Omin silmin sitten näin, että Sodankylän keskusta Jeesiönjoen ja Kitisen yhtymäkohdassa oli vilkkaan liikenteen

teen solmukohta, kauppoja ja ihmisiä oli kuin jossain Etelä-Suomen keskisuudessa kaupungissa. Vuonna 1964 Sodankylän maalaiskunnassa oli yli 11 000 asukasta, kun niitä nykyään on noin 20 % vähemmän.

Ensivaikutelma itse observatoriosta oli, että alue Tähtelän mäntykankaalla oli kuin pieni tiedekylä kymmenine rakennuksineen ja antennikenttineen. Kesti kyllä jonkin aikaa ennen kuin tuli selväksi, että kyseessä on kaksi erillistä observatoriota: Ilmatieteellisen laitoksen ja Tiedekatemian observatoriot ja vielä niin, että laitosrakennukset sijaitsevat kaukana toisistaan noin kilometrin laajuusella alueella pitkin Kitisen rantamaata. Ionosfääriaseman vastavalmistuneet uutuuttaan hohtavat punatiiliset rakennukset antoivat vaikutelman siitä, että täällä ollaan alan tutkimuksen etulinjassa, kun ulkoiset puitteet ovat niin edustavia. Varsin hämärä käsitys oli minulla lukiolaisena siitä, mikä on yleensä ionosfääri ja mitä tarkoitetaan ionosfäärin luotauksilla. Mutta paikan päällä ionosfääriasemalla aivan konkreettisesti sain opastusta ja alan ensitiedot tuli omaksettua. Vähän tutumpi tapahtuma oli, kun ionosfääriasemalla seurattiin yleisradion piippaavan aikamerkin tarkkuutta. Voi sanoa, että näistä kokemuksista sain kipinän tutustua geofysiikan avaruuteen katsovaan tutkimusalueeseen enemmänkin. Kun kolme vuotta myöhemmin kirjoitin ylioppilaaksi saatoin äidinkielen kokeessa ottaa aiheeksi "Miten avaruusraketit ja tekokuut ovat lisänneet tietoaamme", kun aihepiiri oli jo monella tapaa tuttu ja tietoa siitä oli karttunut.

Keskiyöllä auringon paistaessa matalalta pohjoisesta seurasimme sääpallon lähettämistä radioluotain mukanaan. Sääteknikko Timo Jääskeläinen avustajineen täytti pallon ja päästi sen irti. Näin tehtiin kahdesti vuorokaudessa. Palloa seurattiin myös visuaalisesti teodoliitin avulla, mutta varsinaiset luotaustiedot tulivat radiosignaalina havaintorakennuksen vastaanottimeen.

Magneettinen mittausryhmä oli majoitettu ionosfääriasemalle. Illalla Liisa ja Tarmo Mustonen tarjosivat poronkärjistystä. Herrat saivat siihen mukaan snapsit, minulle tarjottiin vain laillinen maitoa, kun ei 16 vuoden ikä riittänyt väkijuomiin.

Magneettinen mittausmatka jatkui Sodankylästä Kilpisjärvelle ja Utsjoelle. Retkikunta sai kolmen viikon työnsä päätökseen, ja Helsinkiin palattiin heinäkuun viimeisinä päivinä. Matkaa oli kertynyt muutama tuhat kilometriä ja paljon uusia kokemuksia oli karttunut sen aikana.

Seuraavana kesänä olin taas mukana Ilmatieteen laitoksen mittausryhmässä. Suunnilleen samat mittauspisteet käytiin lävitse kuin edellisenäkin vuotena. Jaakko Keräsen luona käytiin kahvilla Mieslahdessa ja kuultiin samat tarinat Lapin mittauksista kuin vuotta aikaisemmin. Sodankylän observatoriossa viivytettiin muutama päivä, kun magneettisia kojeita verrattiin observatorion laitteisiin. Matkan pohjoisin ääripiste oli Utsjoen Kevolla Turun yliopiston biologisella asemalla, missä vietettiin mittauksissa useita päiviä. Asemalla oli sijoitettuna Ilmatieteen laitoksen siirrettävä magnetometri, joka piti kalibroida. Kevolla oli myös Sodankylän observatorion ionosondi, joka piti yhteyttä viestoluotauksen kautta Saksan Lindauhin. Observatorion teknikko Raimo Mannermaa piti huolta kojeista ja niiden toimivuudesta. Myös Sodankylän observatorion seismometri sijaitsi Kevolla.

Ionosfääriluotauksessa käytetty laite piti yötä päivää melkoista meteliä, joka vähän häiritsi yöpymistä viereisessä huoneessa. Kevon asemalla oli Turun yliopiston kasvitieteen opiskelijoiden ryhmä kenttätöissä aseman hoitajan kasvitieteilijä Matti Sulkinon (1930–) johdolla. Tutkimuskohteena oli lähialueen tunturikoivut, joiden lehdet olivat tuhoutuneet tunturimittaritoukkien syöminä. Paikalla oli myös Kevon aseman perustaja professori Paavo Kallio (1914–1992), jonka kanssa saunottiin useita kertoja. Saimme kuulla hänen monivaiheisia kertomuksiaan jatkosodan ajoilta Itä-Karjalasta.

### Lapin magneettiset mittaukset jatkuvat

Kesinä 1969–1971 tein Ilmatieteen laitoksen magneettiseen kartoitukseen liittyen magneettikentän linjamittauksia Lapissa yhteensä yli 300 mittapaikassa noin viiden kilometrin pistevälein. Sodankylän observatorio oli silloinkin useaan kertaan matkan tukipisteenä. Kyseessä oli Jaakko Keräsen 1910- ja 1920-luvuilla Lapissa tehtyjen mittausten toisinto, mutta nyt tiheämällä mittausväleillä. Kesällä 1970 Jaakko Keränen, tuolloin 87 vuotias, ilmoitti haluavansa tulla mukaan mittausmatkalle, jonka teimme yhdessä Nurmijärven observatorion johtajan Matti Kivisen kanssa (Kivinen, 1981). Motiivina Keräsen mukanaoloon oli, että hän voisi auttaa löytämään yli 50 vuotta aikaisemmin tehtyjä maastoon merkittyjä magneettisia mittapisteitä. Vanhoissa havaintovihoissa oli mittapaikoista vain ylimalkaiset kuvaukset. Jos tällainen vanha paikka löytyisi, saataisiin yhdessä nykymittausten kanssa tarkempi tieto siitä, miten sekulaarimuutos on edennyt kyseisellä paikalla. Matka alkoi Mieslahdelta ja suuntautui Raja-Joosepin kautta Utsjoelle ja sieltä ylös Nuorgamiin saakka. Vanhoja pisteitä ei löytynyt, mutta joka paikasta Keräsellä riitti muisteltavaa. Ilmatieteellisen keskuslaitoksen entisen johtajan roolissa Keränen kävi tervehtimässä ja hyvästelemässä Nuorgamissa laitoksen sääaseman hoitajaa Anna Suomenrinnettä (1901–?). Edellisen kerran Keränen oli käynyt Nuorgamissa vuonna 1945 sääasemien tarkastusmatkalla.

Jaakko Keränen kesällä 1970 kotipihallaan Mieslahdessa.  
(Kuva: Elsa Kenttämää)





Jaakko Keräsen mittauspisteitä löytyi useita, mutta niiden tarkka paikka jäi selvittämättä. Paremmin kävi Pokassa Kitisen yläjuoksulla Pomokairan luoteispuolella. Keränen oli tehnyt kesäkuussa 1917 magneettisia mittauksiaan Pokan kylässä, jonne mittausryhmä saapui veneellä Sodankylästä pitkin Kitistä. Keränen muisti hyvin alueen ja sen missä oli ollut mittapaikka ja leiri. Paikalle kertyi kyläläisiä ihmettelemään millä asialla me nyt olimme. Eräs kylän vanhimmista sanoi muistavansa Keräsen noilta ajoilta. Keränen sanoi minulla, että "otahan Nevanlinna pois tuota sammaletta noiden kivien päältä, mittausmerkki on varmaan siinä, muistan sen". Niin tein ja Keräsen kallioon kaivertama mittapaikan merkkikuvio löytyikin jäkälän alta. Setä-Keränen myhäili tyytyväisenä löytönsä ja ympärille kertyneet kyläläiset olivat ihmeissään, että mikä ihmeen vanha velho on tänne tullut.

Matkamme päättyi Sodankylän observatorioon, missä Airi ja Eero Kataja tarjosivat Keräselä juhlapäivällisen ja illalla saunottiin observatorion rantasaunassa. Jaakko Keräselä kiertokäynti hänelle aikanaan tutuissa Lapin kolkissa merkitsi enemmänkin erään elämäntyön lopullista päätöstä. Siihen olennaisina osina olivat kuuluneet Sodankylän observatorion perustamisvaiheet ja laajat magneettiset mittausmatkat Lapissa 1910- ja 1920-luvuilla.

Jaakko Keräsen viimeinen Sodankylän-vierailu tapahtui observatorion 60-vuotisjuhlien yhteydessä 1.9.1973. Keränen piti tilaisuudessa juhlapuheen.



Sodankylän geofysiikan observatorion rantasauna Tähtelässä. Sauna oli ensimmäinen rakennus, joka valmistui uudelleen rakennetussa observatoriossa sodan tuhoista vuonna 1945. Kuva on vuodelta 1958. (KUVA: Juhani Oksman)

# 1.1

## OULUN YLIOPISTON YHTEYTEEN

Jorma Kangas

Sodankylän geofysiikan observatorio oli 1990-luvun loppupuolelle asti perustajansa Suomalaisen Tiedeakatemia alainen yksikkö. Sen hallinnosta ja taloudesta vastasi Tiedeakatemia asettama observatoriotoimikunta. Rahoitus tuli vuosittain opetusministeriöltä harkinnanvaraisen valtionavustuksen muodossa, viimeisinä vuosina valtion veikkausvoittovaroista. Laitos on ollut siten pitkään yksityisoikeudellinen laitos, joka on saanut rahoituksensa julkisista varoista. Toiminnan laajentuessa ja kansainvälistyessä observatorio on hankkinut enenevässä määrin ulkopuolista rahoitusta erillisten hankkeiden rahoittamiseksi.

Observatorion organisaatio oli joustava, ja se helpotti mm. osallistumista moniin merkittäviin kansainvälisiin projekteihin. Toisaalta observatorion juridinen asema oli epäselvä, talouden ennustettavuus oli heikko ja henkilökunnan asema verrattuna valtion työntekijöihin ei ollut tyydyttävä. Laitoksen kasvaessa voimakkaasti 1960-luvulta alkaen myös ongelmat kasvoivat, ja sen asemaa ja toimintojen kehittämistä alettiin pohtia useissa työryhmissä ja neuvottelukunnissa.

### Työryhmät etsivät uutta isäntää

Jo vuonna 1964 julkistetussa tieteellisen tutkimuksen organisaatiokomitean mietinnössä kiinnitettiin huomiota Suomen geotieteiden hajanaisuuteen ja pohdittiin tutkimusalojen uudelleen organisoimisen tarpeellisuutta. Komitea ehdotti tutkittavaksi, pitäisikö Suomeen perustaa uusi tutkimuslaitos, johon sijoitettaisiin seismologia, ionosfääritutkimus ja geomagnetismin tutkimus

ja mahdollisesti geodesia, eli ehdotus koski myös Sodankylän geofysiikan observatorion toimialoja. Tiedeakatemia asetti vuonna 1970 professori Lauri Vuorelan johdolla toimineen neuvottelukunnan, joka päätyi mietinnössään vuonna 1973 esittämään, että observatorion säilyttäminen Tiedeakatemian yhteydessä olisi edullisempi vaihtoehto kuin liittäminen esimerkiksi Ilmatieteen laitokseen tai jonkin yliopiston tai korkeakoulun yhteyteen. Neuvottelukunta korosti, että observatorion kehittämisen kannalta tärkeintä olisi tehostaa sen tutkimustoimintaa. Sitä varten neuvottelukunta teki useita aloitteita.

Pian Vuorelan neuvottelukunnan jälkeen vuonna 1974 opetusministeriö asetti toimistopäällikkö Markku Linnan työryhmän tekemään ehdotuksen ”Suomalaisen Tiedeakatemian Sodankylän geofysiikan observatorion oikeudellisen ja taloudellisen aseman järjestämisestä”. Työryhmä tutki viiden erillisen vaihtoehdon hyviä ja huonoja puolia:

- Observatorio säilyy Suomalaisen Tiedeakatemian alaisuudessa.
- Se sijoitetaan organisatorisesti yliopiston, lähinnä Oulun yliopiston yhteyteen.
- Se sijoitetaan Ilmatieteen laitoksen yhteyteen.
- Perustetaan uusi valtion tutkimuslaitos.
- Säädetään laki observatorion valtionavusta.

Vaihtoehtojen vertailussa arvioitiin erityisesti, miten kukin malli turvaisi taloudellisesti observatorion toiminnan jatkuvuuden ja kohtuullisen kehityksen, toisi henkilökunnan valtion sosiaaliturvan ja eläkejärjestelmän piiriin, takaisi merkittävien geofysiikan mittausarjojen jatkuvuuden ja tason sekä varmistaisi toiminnan korkeatasoisen tieteellisen pätevyyden omaavan hallintoyksikön alaisuudessa. Vaikka työryhmä oli ilmeisen myönteinen ajatukselle, että observatorio säilyisi Tiedeakatemian alaisuudessa, se esitti kantanaan, että observatorio liitettäisiin Ilmatieteen laitoksen yhteyteen 1.3.1977 alkaen. Ehdotus ei kuitenkaan johtanut mihinkään, sillä Valtiovarainministeriö ei hyväksynyt sitä. Ministeriö ei halunnut uutta pysyvää menoerää budjettiinsa, ja observatorio jatkoi toimintaansa valtion veikkausvoittovarojen turvin.

Kuten edellä mainittiin, Linnan työryhmä pohti mahdollisuuksia liittää Sodankylän geofysiikan observatorio Oulun yliopiston yhteyteen. Suomalainen Tiedeakatemia oli saanut vuonna 1974 lausunnot Vuorelan neuvottelukunnan ehdotuksista kolmelta ulkomaiselta asiantuntijalta. Linnan työryhmä arvioi niiden perusteella, että vaikka liittymisellä yliopistoon olisi kiistattomia etuja, ”ei pääasiassa pitkäaikaiseen aineiston keräämiseen tähtäävä observatoriotoiminta kuitenkaan sovellu yhteen yliopistoissa ja korkeakouluissa suoritettavan lyhyemmän tähtäyksen pätevyystutkimuksen kanssa. Yleisen varojen niukkuuden sattuessa jouduttaisiin opetus turvaamaan ja olisi mahdollista, että observatoriotoiminta kärsisi ja pitkät havaintosarjat, joiden jatkuvuus ei yliopiston kannalta ole elintärkeätä, voisivat vaarantua”. Samanlaisia perusteluja käytti myös Vuorelan neuvottelukunta hylätessään yliopistovaihtoehdon.

Seuraavan kerran observatorion asemaa selviteltiin kahdessa työryhmässä 1990-luvun alkupuolella. Liikenne- ja opetusministeriöt asettivat vuonna 1991 yhteisen työryhmän pohtimaan Tähtelän alueen kahden observatorion kehittämistä ja organisaatiota. Opetusministeriö nimitti vuonna 1993 tutkimusasematyöryhmän pääsihteeri Matti Hosian johdolla tekemään ehdotuksia Suomen tutkimusasemien kehittämiseksi. Hosian työryhmän ehdotukset osoittautuivat lopulta ratkaiseviksi Sodankylän geofysiikan observatorion tulevaisuuden kannalta.

Hosian työryhmä esitti karsittavaksi Suomen kenttä-, koe- ja tutkimusasemien verkostoa varsin radikaalisti. Sodankylän geofysiikan observatorion asemaa ei kuitenkaan kyseenalaistettu. Työryhmä piti tärkeänä vakinaistaa observatorion toiminnot valtion budjetin alaisuudessa ja ehdotti observatorion liittämistä Oulun yliopistoon valtakunnallisena erillislaitoksena. Työryhmä esitti myös, että Oulun yliopiston geofysiikan observatorio tulisi yhdistää Sodankylän geofysiikan observatorioon. Tiedeakatemian hallitus korosti muistiosta antamassaan lausunnossa, että observatorion kehittämisen kannalta sen pääsy opetusministeriön suoran budjettirahoituksen piiriin olisi oleellista ja suositteli opetusministeriölle työryhmän ehdotuksen hyväksymistä. Observatorion johto ja henkilökunta kannattivat myös liittymistä Oulun yliopiston yhteyteen.

Opetusministeriö asetti 1.6.1995 uuden työryhmän valmistelemaan siirron käytännön järjestelyjä, ja yliopiston piirissä käynnistettiin myös monia toimenpiteitä. Oulun yliopisto oli hyvissä lähtöasemissa prosessin käynnistämiseksi, sillä se oli jo vuonna 1992 liikenneministeriön työryhmän muistiosta antamassaan lausunnossa esittänyt, että tutkittaisiin, miten Sodankylän geofysiikan observatorion toiminnan edellytykset voitaisiin taata Oulun yliopiston organisaatiossa. Lisäksi yliopiston rehtori asetti vuonna 1994 työryhmän valmistelemaan Oulun yliopiston ja observatorion yhteistyösopimusta, joka oli tarpeen yhteistyön muotojen lisääntyessä nopeasti ja yliopiston valittua pohjoisuuden yhdeksi tutkimuksensa painoalaksi.

Monien vaiheiden jälkeen Sodankylän geofysiikan observatoriolla oli uusi isäntä. Touku-kuussa 1997 allekirjoitettiin sopimus, jonka mukaan Oulun yliopisto ottaa observatorion vakinaisen henkilöstön työsopimussuhteeseen, ja observatorion julkaisusarja, rakennukset ja tutkimustoiminta siirtyvät Oulun yliopiston vastuulle. Sopimus astui voimaan 1.8.1997, jolloin Sodankylän geofysiikan observatorio liitettiin virallisesti Oulun yliopiston yhteyteen valtakunnallisena erillislaitoksena. Suomalaisen Tiedeakatemian 100-vuotishistorian laatinut Jyrki Paasikoski kirjoittaa: ”Suomalainen Tiedeakatemia oli tällä ratkaisulla luopunut ainoasta tutkimuslaitoksestaan. Sodankylän observatorion epäselvä oikeudellinen, taloudellisesti hyvin herkkä ja henkilökunnan kannalta lähes sietämätön asema johtivat siihen, että Tiedeakatemia katsoi parhaimmaksi luopua sen ylläpidosta.”

## Uuteen organisaatioon siirtyminen

Oulun yliopisto oli luonut yhteyksiä Sodankylän geofysiikan observatorioon jo 1960-luvulta alkaen, ja ne olivat monipuolistuneet vuosien varrella. Observatorion tutkijat luennoivat yliopistossa, ohjasivat opinnäytetöitä ja yliopiston opiskelijat tekivät harjoitustöitä Sodankylässä. Observatorio sai monen vuoden ajan palkata valtion työllisyysvaroilla työntekijöitä Oulun yliopiston välityksellä. Observatorio liittyi Oulun yliopiston tietoverkkoon vuonna 1993. Monet observatorion henkilökuntaan kuuluneet olivat opiskelleet Oulun yliopistossa. Observatorion ja yliopiston tutkijoilla oli lukuisia merkittäviä yhteisiä tutkimushankkeita, ja he muodostivat avaruustutkimus polaarialueilla -nimisen tutkijakonsortion, joka valittiin Oulun yliopiston tutkimuksen huippuyksiköksi vuonna 1997. Lähtökohdat siirtymiseen yliopiston alaisuuteen olivat siten suotuisat.

Sodankylän geofysiikan observatorion liittymistä Oulun yliopiston yhteyteen juhlittiin näyttävästi 1.8.1997. Jo edellisenä päivänä Tähtelässä järjestettiin avoimien ovien päivä, ja työnsä lopettanut observatoriotoimikunta piti viimeisen kokouksensa. Varsinaisena juhlapäivänä järjestettiin yleisötilaisuus Sodankylän kunnan valtuustosalissa, jossa juhlapuheen piti Oulun yliopiston rehtori Lauri Lajunen. Professori Heikki Solin toi tilaisuuteen Suomalaisen Tiedeakatemian tervehdyksen. Päivä päättyi rehtori ja rouva Lajusen järjestämään vastaanottoon.

Yliopistoon liittymisen käytännön toimenpiteitä valmistellut opetusministeriön työryhmä esitti, että erillislaitoksena toimivan observatorion johtokunnan kokoonpanossa on otettava huomioon laitoksen valtakunnallisuus ja huolehdittava siitä, että johtokunnassa on riittävässä määrin edustettuina Suomalainen Tiedeakatemia samoin kuin muut observatorion keskeiset yhteistyötahot. Observatorion ensimmäiseen johtokuntaan valittiin Oulun yliopiston edustajien lisäksi Suomalaisen Tiedeakatemian, Ilmatieteen laitoksen, Geologian tutkimuskeskuksen, Lapin työvoima- ja elinkeinokeskuksen ja Sodankylän kunnan edustajat. Observatorion henkilökunta valitsi johtokuntaan yhden edustajan. Observatoriolle valmisteltiin uusi johtosääntö, joka tuli voimaan 1.8.1998 samanaikaisesti uuden yliopistolain kanssa.

Uuteen hallintoon siirtyminen vaati paljon käytännön valmisteluja. Observatorion henkilökuntaa koulutettiin uusiin järjestelmiin, ja yliopiston virkakunta tutustui observatorion maailmaan. Kaikki ei välttämättä sujunut aina suoraviivaisesti, mutta jokainen prosessiin osallistunut osasi joustaa tarvittaessa ja yhteisymmärrys saavutettiin. Erityisesti yliopiston taloushallintoon siirtyminen vaati paljon paneutumista ja kärsivällisyyttä. Mutta asiat saatiin sujumaan, ja observatorion johtaja saattoikin kirjoittaa vuoden 1998 kertomukseen, että ”siirtyminen yliopiston hallintokulttuuriin on sujunut ilman suuria ongelmia”.

Observatorion ja yliopiston väliset ensimmäiset tulosneuvottelut käytiin vuoden 1997 loppupuolella. Samalla kirjattiin observatorion tavoitteet tuleville vuosille. Tätä näkemystä tarkistettiin seuraavana vuonna, jolloin observatorio osallistui Oulun yliopiston sisäiseen arviointiprojektiin. Siinä yliopiston laitokset arvioivat omaa toimintaansa ja sen kehittämisen tarpeita ja suuntia.

**Juhlatilaisuus**  
Sodankylän geofysiikan observatorion  
liittyessä Oulun yliopistoon  
1.8.1997

Sodankylän kunnan valtuustosalissa klo 13.00

*Ohjelma*

**Debussy: Kuutamoa**  
Esa Ylivaara, piano

**Tervetuloivotus**  
Johtaja Tauno Turunen

**Horatius: Nunc est bibendum, nunc pede libero**  
Lausuja Marja-Leena Ollila-Markkanen

**Juhlapuhe**  
Oulun yliopiston rehtori Lauri Lajunen

**José Maria Cano: Kuun poika**  
Riikka Kuusela, laulu  
Tiina-Majja Kuusela, piano

**Tähtiherroista taivaan tutkaan**  
Tohtori Eero Kataja

**Revontulia ja radioaaltoja**  
Professori Juhani Oksman

**Hellaakoski: Pyhät päät**  
Lausuja Marja-Leena Ollila-Markkanen

**Tervehdykset**

Sodankylän geofysiikan observatoriossa järjestetyt juhlatilaisuuden ohjelma 1.8.1997, kun laitos liittyi osaksi Oulun yliopistoa. (Kuva: SGO)

Valmistuneen itsearviointiraportin pohjalta tehtiin aiesuunnitelma vuoden 1999 tulosneuvottelujen varten, ja raportti toimi lähtökohdana useamman vuoden aikana observatorion toimintoja suunniteltaessa.

Vuoden 1998 aikana observatorio kutsuttiin mukaan tekemään aloitteita Sodankylän alueen niin sanottua kompensatiorahoitusohjelmaa varten. Sodankylän varuskuntaa oltiin supistamassa, ja sen korvauksena valtiolta lupasi alueelle erityistukea. Tuen yhdeksi kohteeksi valittiin Tähtelän alueen kahden observatorion yhteisen päärakennuksen rakentaminen. Oulun yliopisto ja Ilmatieteen laitos suhtautuivat hankkeeseen myönteisesti, ja rakennuksen suunnittelu käynnistyi Oulun yliopiston arkkitehtuurin laitoksen johdolla.



Vuoden 1998 alussa observatorion tehtävät lisääntyivät merkittävästi, kun Oulussa toiminut luonnontieteellisen tiedekunnan geofysiikan observatorio liitettiin hallinnollisesti Sodankylän geofysiikan observatorioon. Tämän liitoksen seurauksena observatorion seismologian havaintotoiminta ja tutkimus laajenivat huomattavasti. Samalla yhteydet Oulun yliopiston kiinteään maan tutkimustoimintaan vahvistuivat, mikä koettiin tärkeäksi etenkin Lapin malmivarojen tutkimuksen kannalta. Myös kosmisen säteilyn mittausasema siirtyi Sodankylän geofysiikan observatorion alaisuuteen. Jatkuvat kosmisen säteilyn mittaukset soveltuivat hyvin muuhun perinteiseen observatoriotoimintaan.

Yliopisto teki toimintojaan tunnetuksi alueen asukkaille järjestämällä yliopistopäivän monipuolisella ohjelmalla 13.10.1998. Esielmissä käsiteltiin puurakentamista, korkeaa teknologiaa ja Lapin malmivarojen hyödyntämistä. Yliopiston tutkijat vierailivat myös Sodankylän kouluissa ja kertoivat muun muassa ilmastomuutoksesta ja sen vaikutuksista ympäristöön ja yhteiskuntaan. Alueen alumneille eli Oulun yliopistosta valmistuneille järjestettiin oma tilaisuutensa.

### Miten observatorion toiminta muuttui?

Vaikka Sodankylän geofysiikan observatorion liittäminen Oulun yliopiston yhteyteen oli suuri hallinnollinen muutos, se ei merkinnyt observatorion tehtävien osalta kovin suuria muutoksia. Observatorion tehtävät määriteltiin yliopiston hallintojohtosäännössä seuraavasti: ”Observatorion tehtävänä on geofysiikan alan jatkuvien mittausten suorittaminen tutkimuksen ja käytännön sovellusten tarpeisiin ja siihen liittyvä aineistojulkaisu- ja kehitystyö. Observatorion mittaustoiminta on osa Suomen kansallisista velvoitteista maailmanlaajuisessa alan tutkimuksessa. Observatorio osallistuu tarvittaessa kulloinkin erikseen sovittavalla tavalla alan korkeakouluopetukseen.”

Observatorion päätehtävät siten säilyivät, ja toimiala kasvoi kosmisen säteilyn mittausten siirtyessä observatorion hoidettaviksi. Myös seismologian toiminta laajeni, kun yliopistolle kuuluneet seismiset tutkimukset ja havainnot siirrettiin observatorion alaisuuteen. Observatoriosta tuli entistä monipuolisempi geofysiikan tutkimuksen perusaineistojen tuottaja. Muutamia uusia toimintamuotoja otettiin käyttöön tukemaan erityisesti Oulun yliopiston pohjoisuus-painoalan tutkimuksia ja avaamaan uusia kansainvälisiä yhteyksiä. Vuonna 2001 observatorion alaisuuteen siirrettiin Oulun Avaruusinstituutin toiminta, mikä lisäsi observatorion vastuuta avaruustutkimuksen koordinoinnissa Oulun yliopiston sisällä.

Observatorion budjettirahoitus on kehittynyt yliopiston alaisuudessa myönteisesti. Observatorion viettäessä 100-vuotisjuhliansa vuonna 2013 sillä oli käytettävissään valtion budjettirahoitusta reaaliarvoltaan noin kaksinkertainen määrä verrattuna viimeiseen valtionavustusvuoteen 1996. Tärkeää on ollut vakinaisten virkojen säilyminen lähes ennallaan, vaikka yliopisto on

joutunut vähentämään henkilöstöään merkittävästi viimeksi kuluneen vuosikymmenen aikana. Ulkopuolisen rahoituksen määrä on pysynyt jatkuvasti hyvällä tasolla, vaikka kilpailu alalla on lisääntynyt, ja haasteet ovat kasvaneet.

Sodankylän geofysiikan observatorio liittyi luontevasti Oulun yliopiston pohjoisuus-painoalan tutkimusohjelmaan. Samalla käynnistettiin keskustelut Pohjois-Suomessa sijaitsevien tutkimusasemien yhteistyön laajentamisesta. Hosian tutkimusasematyöryhmä oli muistiossaan suositellut tällaista toimintaa erityisesti yliopistollisten tutkimusasemien tehtäväksi. Polaarineuvottelukunta julkisti vuonna 1998 professori Matti Saarniston tekemän selvityksen Suomen arktisen tutkimuksen nykytila ja strategian suuntaviivoja, jossa esitettiin seuraava ajatus: ”Suomen Lapissa on monipuolinen asemaverkko, jonka näkyvyyttä arktisen tutkimuksen voimavarana tulee kehittää. Laitostyyppisten tutkimusasemien tulisi verkottua ja korostaa volyyymiaan. Ne voisivat yhdessä pyrkiä saamaan EU:n Large Scale Facility - tutkimusasemastatuksen.”

Keskustelujen tuloksena Helsingin ja Oulun yliopistojen yhteistyöryhmä pyysi Sodankylän geofysiikan observatoriota valmistelevaan asiaa yhteistyössä Lapin muiden tutkimusasemien kanssa. Vuonna 2001 voitiinkin aloittaa EU:n rahoittama hanke LAPBIAT eli Lapland Atmosphere-Biosphere Facility, Access to the Major Research Infrastructures. Hankkeeseen osallistuivat Sodankylän geofysiikan observatorion lisäksi Ilmatieteen laitoksen Lapin ilmatieteellinen tutkimuskeskus, Helsingin yliopiston Kilpisjärven biologinen asema ja Värriön tutkimusasema, Turun yliopiston Kevon biologinen asema, Metsäntutkimuslaitoksen Kolarin tutkimusasema ja Oulun yliopiston Oulangan biologinen asema.



Oulun yliopiston Sodankylän geofysiikan observatorion ja Ilmatieteen laitoksen Lapin ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen yhteinen päärakennus Polaria. Rakennus valmistui vuonna 2001. (Kuva: SGO)

LAPBIAT-hanke sai EU-rahoituksen kahdelle kaudelle: 2001–2004 ja 2006–2010, yhteensä yli 3 miljoonaa euroa. Suurin osa tästä rahasta jäi tutkimusasemien käyttöön, millä oli merkittävä vaikutus asemien elinvoimaisuuteen. Asemilla vieraili rahoituskausien aikana 460 ulkomaista tutkijaa, ja he viipyivät asemilla yhteensä noin 8500 vrk. Tutkimuyhteistyö vierailijoiden ja asemien tutkijoiden kesken oli tuloksellista, sillä se tuotti esimerkiksi ensimmäisen kauden aikana yli 200 tieteellistä artikkelia. LAPBIAT-hanke lisäsi merkittävästi Lapin tutkimusasemien näkyvyyttä arktisessa tutkimuksessa.

Yhteistyö naapuriobservatorion, Lapin ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen kanssa monipuolistui muutenkin LAPBIAT-hankkeen lisäksi. Geofysiikan observatorio tuki Tähtelän alueelle sijoitetun Kansainvälisen ultravioletisäteilyn tutkimusaseman (FUVIRC) perustamista ja toiminnan käynnistymistä osana yliopiston pohjoisuus-painoalan tutkimuksia. Tärkeä vaihe Tähtelän alueen historiassa saavutettiin, kun observatorioiden yhteinen pääarakennus vihittiin juhlavasti käyttöön 14.8.2001.

Tutkimustoiminnassa EISCAT-tutkimus ja siihen liittyvä menetelmätutkimus sekä ionosfäärin tutkimus säilyivät liitoksessa observatorion tärkeänä painoalana. Yhteistyö yliopiston fysiikan tieteiden ja matematiikan laitosten tutkijoiden kanssa vahvistui. Observatorio on ollut mukana Suomen Akatemian rahoittamassa inversio-ongelmien huippuyksikössä vuodesta 2006 alkaen. Seismologian ja litosfäärin mittavat tutkimusohjelmat kuten EUROPROBE ja FIRE (Finnish Reflection Experiment) laajensivat monin tavoin observatorion tutkijoiden kansainvälisiä yhteyksiä ja yhteistyötä yliopiston geotieteiden laitoksen kanssa. Kosmisen säteilyn tutkimuksessa mittausten sijoittaminen Pyhäsalmen kaivokseen merkitsi uutta aluevaltausta.

Sodankylä oli jo 1960-luvulta alkaen suosittu paikka erilaisille tapaamisille ja koulutus-tilaisuuksille. Lähes jokavuotiset geofysiikan observatoriopäivät 1990-luvun loppupuolelle asti olivat tärkeitä suomalaisen avaruustutkimuksen kehityksen kannalta, ja ne myös kouluttivat uusia tutkijoita alalle. EISCAT-tutkimushankkeeseen liittyen järjestettiin vuosien varrella monia neuvottelu- ja koulutus-tilaisuuksia. Kun Suomen Akatemian rahoittama alan tutkijakoulu aloitti toimintansa vuonna 1995, useita seminaareja järjestettiin Sodankylässä. Yliopistoon liittymisen jälkeen observatorio ja yliopisto saivat vuonna 2001 EU:n rahoittaman Marie Curie Training Site -aseman, ja observatorion rooli tutkijakoulutuksessa vahvistui.

Sodankylän geofysiikan observatoriolla on ollut aina läheiset yhteydet alueen toimijoihin. Muuttuminen yliopistolliseksi laitokseksi lisäsi odotuksia, sillä yliopistojen tehtäviin on kirjattu yhteiskunnalliset palvelut. Observatorion johdolla selvitetiinkin, mitä toiveita alueella oli, ja miten niihin voitaisiin vastata. Observatorio kutsuttiin mukaan aluekehitysohjelmien laatimiseen ja Lapin liiton työryhmiin. Oulun ja Lapin yliopistojen ja Sodankylän kunnan yhteistyönä perustettiin Keski- ja Pohjois-Lapin yritys- ja tutkimusasiamehen toimi vuonna 1999. Observatorion tutkijat tekivät luentovierailuja Lapin läänin lukioihin tehden samalla tunnetuksi Oulun yliopiston opiskelumahdollisuuksia.

## Epilogi

Sodankylän geofysiikan observatorion toiminta Tähtelän alueella käynnistyi vuonna 1913 ”onnellisten tähtien alla”. Suomalaisen Tiedeakatemian asiantuntevalla ja innostuneella johdolla laitos ansaitsi pian asemansa kansainvälisessä geofysiikan observatorioiden organisaatiossa. Monet ovat ne tutkimukset, jotka ovat hyödyntäneet sen tuottamia havaintoaineistoja. Mittausten jatkuvuuteen ja tasoon on aina kiinnitetty erityistä huomiota ja laitteistoja on uudistettu resurssien sallimissa rajoissa.

Observatorion mittaustoiminta ja muu aktiivisuus laajenivat nopeasti erityisesti kansainvälisen geofysiikan vuoden 1957–1958 seurauksena. Tiedeakatemian mahdollisuudet ylläpitää ja kehittää observatoriota yksin olivat käymässä riittämättömiksi, ja siksi alettiin etsiä muita ratkaisuja. Yllättävän kauan kuitenkin kesti, ennen kuin uusi isäntä löytyi. Ainakaan 1970-luvulla alan asiantuntijat eivät pitäneet yliopistoa hyvänä observatorion sijoituspaikkana. Toisaalta monissa asiantuntija-arvioissa jo 1960-luvulta alkaen pidettiin tärkeänä observatorion tutkimusresurssien vahvistamista.

Voidaan sanoa, että uusi vaihe 1990-luvulla pääsi etenemään myös ”onnellisten tähtien alla”. EISCAT-tutka-aseman sijoittaminen Sodankylään ja tiiviin tutkimusohjelman käynnistyminen observatorion ja Oulun yliopiston tutkijoiden kesken Suomen Akatemian tuella oli lähentänyt instituutioita. Observatorion henkilökunnalla oli vaativia tehtäviä EISCAT-järjestön organisaatiossa, mikä lisäsi observatorion arvostusta yliopiston piirissä entisestään. Kun Oulun yliopisto valitsi pohjoisten kysymysten tutkimuksen yhdeksi tutkimustoimintansa painoalueeksi, Sodankylän geofysiikan observatoriolla oli siinä merkittävä rooli. Seuraava luonnollinen päätös oli liittää observatorio Oulun yliopiston yhteyteen.

Viimeiset lähes 20 vuotta yliopiston alaisuudessa ovat osoittaneet, että Sodankylän geofysiikan observatorio on sopeutunut hyvin uuteen hallintoympäristöönsä. Observatorio voi toimia onnistuneesti myös yliopisto-organisaatiossa. Perinteiset toiminnot ovat säilyneet observatorion ensisijaisina tehtävinä, mutta tutkimus ja siihen liittyvät kansainväliset yhteydet ovat entisestään vahvistuneet. Samalla observatorio on toiminut laajemminkin yliopiston edustajana alueella ja toteuttanut yliopiston strategiaa. Muutosta kuvaa hyvin se, että observatorio on nyt nimetty kategoriaan ”Tutkimusyksiköt” ja sen tieteellinen julkaisutoiminta on asettunut pysyvästi hyvälle tasolle. Yliopisto on taannut observatorion taloudelliset resurssit kiitettävällä tavalla.

Observatoriolla on arvostettu asema sekä kansallisesti että kansainvälisesti, mitä osoittavat monet sille ja sen henkilökunnalle myönnetty tunnustukset. Laitoksen tulevaisuutta aikanaan pohtineiden asettamat tavoitteet on pääosin saavutettu, ja korkeatasoisesta observatoriosta on kasvanut monipuolinen ja korkeatasoinen tutkimuskeskus.

**Lähdeviitteet**

Ehdotus toimenpiteiksi Sodankylän geofysiikan observatorion tieteellisen työskentelyn tehostamiseksi. Suomalaisen Tiedeakatemian asettama geofysiikan neuvottelukunta, 1973 (julkaisematon työryhmämuistio).

Ehdotus Suomalaisen Tiedeakatemian Sodankylän geofysiikan observatorion oikeudellisen ja taloudellisen aseman järjestämiseksi. Opetusministeriön työryhmä, 1975 (julkaisematon työryhmämuistio).

Ehdotus Sodankylän geofysiikan observatorioiden kehittämiseksi. Liikenneministeriön julkaisuja 2/92, 1992.

Tutkimusasematyöryhmän muistio. Opetusministeriön työryhmien muistioita 2:1995, 1995.

Suomalaisen Tiedeakatemian Sodankylän geofysiikan observatorion asemaa selvittävän työryhmän muistio. Opetusministeriön työryhmien muistioita 35:1995, 1995.

Suomen arktisen tutkimuksen nykytila ja strategian suuntaviivoja. Kauppa- ja teollisuusministeriön neuvottelukuntaraportteja 4/1998, 1998.

Sodankylän geofysiikan observatorion vuosikertomukset vuosilta 1993–2008.

Paaskoski, Jyrki: Oppineiden yhteisö – Suomalainen Tiedeakatemia 1908–2008. Otava 2008, s. 294–297.

# 1.2

## SODANKYLÄN GEOFYSIIKAN OBSERVATORIO TÄNÄÄN

Esa Turunen ja Jyrki Manninen

Sodankylän geofysiikan observatorio (SGO) on Oulun yliopiston erillislaitos, jolla on valtakunnallisia havaintotehtäviä. Observatorion päätehtävänä on geofysiikan alan jatkuvien mittauksen tekeminen tutkimuksen ja käytännön sovellusten tarpeisiin, avoin aineistojulkaisutoiminta sekä kansainvälisen toiminnan edellyttämä tutkimus- ja kehitystyö. SGO:n jatkuvat ja määräaikaiset ympäristömittaukset ja niihin perustuva tutkimus käsittävät perinteisen geofysiikan aiheiden lisäksi modernit tutkimusalat kuten esimerkiksi avaruusfysiikkaan luettavan geoavaruusympäristön tutkimuksen.

Mittausaineistoihin liittyvä tieteellinen tutkimus ja aineistojulkaisutoiminta ovat oleellinen osa observatoriotyötä aineiston laadun varmistamiseksi. Observatorion työssä korostuvat globaalien havaintoverkkojen osana toimiminen ja kansainvälinen tutkimusyhteistyö. SGO:n kansallisen tehtävän luonne edellyttää, että SGO on kansainvälisesti toimiva ja vaikuttava yliopiston yksikkö, jolla on erinomaiset yhteydet toimintaympäristöönsä, ja joka omilla erikoisaloillaan kykenee johtamaan kansainvälisen tutkimuksen kehitystä. SGO operoi muiden tutkimuslaitosten vierasmittauslaitteita ja SGO on Oulun yliopiston merkittävin toimija Lapin maakunnassa.

### SGO:n profiili ja tavoite

Erillislaitoksena observatorio ei osallistu Oulun yliopiston antamaan perusopetukseen, mutta toimii erityisalojensa tutkija- ja tohtorioppilaiden koulutusyksikkönä. SGO:n mittaukset ovat



kansainvälistä tiedeyhteisöä maailmanlaajuisesti palvelevaa havaintotoimintaa, joka ulottuu pohjoisen Jäämeren alueelta pohjoisen Fennoskandian ja Afrikan kautta Etelämantereelle. Kaikkiaan observatorio ylläpitää ja käyttää 52 mittalaitetta 24 paikassa.

SGO:n huippututkimus kohdistuu Maan ionosfääriin, magnetosfääriin ja sen sähkömagneettisiin aaltoihin, tutkatekniikkaan, inversiomatematiikkaan, kosmiseen säteilyyn, avaruusilmastoon sekä seismologiaan. Toiminta rakentuu yhteistyölle 200 yliopiston ja tutkimuslaitoksen kanssa ympäri maailmaa. Luetteloituja yhteistyökumppaneita ja aineiston käyttäjiä on yli 6000. SGO:n tutkijat ovat erityisasiantuntijoita sirontatutkimuksissa. Energeettisen hiukkassäteilyn vaikutus ilmakehän kemiaan ja yhteys polaarialueen ilmastomuutokseen on yksi tärkeä tutkimuskohde. SGO:n laajeneva seismisten asemien verkko Pohjois-Suomessa on yhä tärkeämpi kasvavan kaivostoiminnan johdosta.

SGO on mukana EU-projekteissa ja kahdessa ESFRI-infrastruktuurihankkeessa: EISCAT\_3D ja EPOS (European Plate Observing System). Oma tutkimusprofessori sekä fysiikan laitoksen kanssa yhteinen professori tutkimusryhmineen kuuluvat Suomen Akatemian matemaattisen inversiotutkimuksen ja avaruusilmaston tutkimuksen huippuyksiköihin.

SGO osallistuu yliopiston, elinkeinoelämän ja tutkimuslaitosten väliseen yhteistyöhön ja rakentaa arktista geoinnovaatiokeskusta yhteistyössä Sodankylän kunnan ja strategisten partnereiden, kuten Ilmatieteen laitoksen, Geologian tutkimuskeskuksen, Paikkatietokeskuksen ja Kemian Digipolis Oy:n kanssa. Observatoriossa tieteiden välinen yhteistyö ja kansainvälinen liikkuvuus korostuvat. Tavoite on, että SGO esiintyy näkyvästi eri medioissa ja on osa Suomen kansallista identiteettiä kansainvälisesti korkeatasoisen observatoriotoiminnan malliesimerkinä.

## SGO:n painoalat

SGO:lla on neljä tieteellistä painoalaa, joihin mittaukset voidaan jaotella: Maan lähiavaruuden fysiikka ja kemia mukaan lukien avaruussäde, kosminen säteily, radiotiede ja seismologia. Painoalat perustuvat SGO:n pitkäaikaisen havaintotoiminnan rakentamiseen ja tutkimuksen kehittymiseen. Sekä havainnot että tutkimus ovat oleellisia osia painoaloissa. Jatkuvien mittausten laadun varmentaminen edellyttää omien aineistojen aktiivista käyttöä ja tutkimusta.

### MAAN LÄHIVARUUDEN FYSIIKKA JA KEMIA

Observatorion alkuperäinen perustehtävä on seurata rekisteröinneillä ja muilla mittauksilla Maan magneettikentän hitaita muutoksia yli vuosikymmenien kestävinä ajanjaksoina. Mittaukset aloitettiin vuonna 1914 ja ne ovat jatkuneet lähes keskeytyksettä yli 100 vuotta. Sodankylän observatorion tuottama magneettikentän vaihteluiden aikasarja antaa yhdessä Ilmatieteen laitok-

sen vastaavien, mutta jo vuonna 1844 alkaneiden mittausten kanssa tietoa Suomen alueen magneettikentän hitaista, niin sanotuista sekulaarisista muutoksista, yli 170 vuoden ajalta. Kyseessä on tieteellisesti huomattavan arvokas havaintosarja, missä Sodankylän havainnoilla on keskeinen sija. SGO:n laitteisto kuuluu IMAGE-magnetometriversioon, jossa on 35 magnetometriasemaa Skandinaviassa ja Virossa.

Aineisto on reaaliaikaisesti nähtävissä verkossa ja edustaa laajan tutkimuskäytön lisäksi ja yhdessä reaaliaikaisen, jatkuvasti kuvaavan revontulikameran kanssa SGO:n tärkeintä julkista toimintaa. Koko Pohjois-Euroopassa käytetään SGO:n aineistoja laajasti avaruussäätapahtumien reaaliaikaiseen monitorointiin ja esimerkiksi revontulujen ennustamiseen kaupallisissa matkailuyrityksissä.

SGO:n revontulikuvauksia ja visuaalisia revontulihavaintoja tehtiin jo 1920- ja 1930-luvuilla. Systemaattiset kuvaukset Sodankylässä alkoivat kansainvälisen geofysiikan vuoden aikana 1957–1958 kansallisena yhteistyönä Ilmatieteen laitoksen kanssa. SGO:lla on nykyisin kaksi revontulikameraa, joista toinen on Pittiövaarassa ja toinen Ruotsissa Abiskossa. Abiskon kamera muodostaa tärkeän parin Ilmatieteen laitoksen ylläpitämälle Kilpisjärven revontulikameralle.

Samaan painoalaan kuuluu ionosondi (aloitettu 1957), jolla mitataan ionosfäärin rakennetta kerran minuutissa. SGO:ssa on tehty merkittävää laitekehitystä ionosondien tekniikassa ja signaalin käsittelyssä. Nykyinen vertikaali-ionosondi on SGO:ssa rakennettu laite (Alfa-susi) ja se on otettu käyttöön vuonna 2005. Aineistoa on käytetty esimerkiksi ilmastomuutoksen tutkimuksessa. Koska SGO:n uusimmalla ionosondilla on tuotettu maailman pisin aikasarja näin suurella aikaresoluutiolla, aineisto soveltuu hyvin erilaisten yläilmakehän aaltoilmiöiden tutkimukseen. Ilmastomuutoksen tutkimuksessa monet epäselvät kysymykset liittyvät yläilmakehän dynamiikkaan.

Kosmisen radiokohinan mittauksia (riometrimittaukset, aloitettu 1964), tehdään kahdeksalla paikkakunnalla, pohjoisin Huippuvuorilla. Mittaukset antavat tietoa ionosfäärin alaosan rakenteesta ja nopeista vaihteluista esimerkiksi avaruussäätöilmiöiden aikana. Radiotieteen ja tietotekniikan kehitys ovat viime vuosina mahdollistaneet SGO:n tutkijoiden luoman kokonaan uuden, samanaikaisesti useita radiotaajuuksia käyttävän mittalaitteiston rakentamisen. Sen avulla saadaan aivan uutta tietoa ionosfääristä. Tämän spektririometrin prototyyppi toimii jo Sodankylässä, ja SGO:n radiotieteen laboratorion toiminta tähtää koko SGO:n asemaketjun uudistamiseen ja samalla laitteen kehittämiseen uudeksi kaupalliseksi tuotteeksi.

### RADIOTIEDE

SGO:n radiotieteen laboratorion on pitkä ja menestyksellinen historia uusien mittausten menetelmien kehittämisessä, erityisesti sirontatutkimuksia varten. Tämä kehitystyö on osaltaan vaikuttanut suomalaisen matemaattisen inversiotutkimuksen huippuyksikön syntyymiseen. Edistyneimmät menetelmät on otettu käyttöön kaikissa maailman sirontatutkimuksissa. SGO:n tutkijat ovat

myös vahvasti mukana EISCAT:in uuden tutkan, EISCAT\_3D:n, kehittämisessä. EISCAT\_3D on ESFRI-tiekarttahanke, jossa SGO koordinoi Suomen osallistumista. Tämä mittausten painoala perustuu siis alun perin Suomen EISCAT-jäsenyyteen.

Tutkimuksen tukemiseksi rakennettiin Kilpisjärvelle vuosina 2011–2012 Suomen suurin radioteleskooppi, KAIRA (Kilpisjärvi Atmospheric Imaging Receiver Array). Laitteisto vihittiin käyttöön vuonna 2013. Se koostuu noin 1500 erillisestä antennista, jotka ovat ryhmänä suunnattavissa eri kohteisiin koko taivaankannen alueella. KAIRA voi toimia itsenäisenä vastaanottimena. Sen vastaanottamilla signaaleilla voidaan kuvantaa ilmakehän eri kerroksia ja avaruutta lähiavaruudesta aina syvään avaruuteen saakka. Tärkeä tutkimuskohde tulevat olemaan Auringon toiminnan vaikutukset ilmakehässä.

KAIRA-asemaa käytetään kampanjaluonteisesti EISCAT-kehitystyön tutkavastaanottimena ja lisäksi myös jatkuvasti mittaavana kuvaavana riometrinä uudella interferometriamenetelmällä. Vastaavia laitteistoja maailmassa on Keski-Euroopassa toimiva LOFAR-verkosto (Low Frequency Array), johon kuuluu 44 asemaa eri maissa, sekä Yhdysvalloissa ja Australiassa.

#### KOSMINEN SÄTEILY

Oulun neutronimonitorin mittaussäde (aloitettu 1964) on pitkäikäisyytensä ja luotettavuutensa vuoksi muodostunut maailman referenssiaineistoksi kosmisen hiukkassäteilyn mittauksia hyödyntävässä avaruussäde- ja avaruusilmastotutkimuksessa. Uusia avaruussäde tapahtumia tarkasteltaessa yleisesti viitataan ensimmäiseksi SGO:n neutronimonitoriaineistoon. Oulun yliopiston



Sodankylän geofysiikan observatorion KAIRA (Kilpisjärvi Atmospheric Receiver Array)-mittausjärjestelmän avajaistilaisuudesta kesäkuussa 2013. Oikealla observatorion johtaja Esa Turunen, hänen vieressään Oulun yliopiston silloinen rehtori Lauri Lajunen ja observatorion tutkimusprofessori Markku Lehtinen. (Kuva: SGO)

uusi avaruusilmaston tutkimuksen huippuyksikkö ReSOLVE, jossa Oulun yliopiston lisäksi ovat mukana Ilmatieteen laitos ja Aalto-yliopisto, perustuu tämän mittaustoiminnan ympärille rakentuneeseen tutkimukseen. SGO myös ylläpitää koko Euroopan kosmisen säteilyn mittausten tietokantaa Oulussa. Neutronimonitoriaineistoa käyttäneitä referoituja tieteellisiä julkaisuja on kertynyt yhteensä 451 koko mittausten historian ajalta.

#### SEISMOLOGIA

Maanjäristysten rekisteröinnit alkoivat SGO:ssa kesällä 1956 ja jatkuvat yhä. Nykyinen SGO:n kuuden aseman FN-verkko (Northern Finland Seismological Network) laajennetaan ESFRI-tiekartan EPOS-projektin yhteydessä 9-asemaiseksi lähivuosina Suomen Akatemian infrastruktuurirahoituksella. Seismisten aineistojen käyttö voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: 1) maanjäristysten ja muiden seismisten tapausten, esimerkiksi räjäytysten, kuten ydinkokeiden havainnointi ja 2) maapallon rakenteen tutkimus.

SGO:n laiteverkko kattaa alueen, jossa kaivostoimintaa tehostetaan jatkossa yhä enemmän. Rakenteilla olevan laajennetun havaintoverkon avulla saadaan koko Suomen seismisen verkon havaintokyky tasaiseksi ja herkemäksi koko Pohjois- ja Koillis-Euroopan pientenkin seismisten tapausten suhteen. Esimerkkinä SGO:n seismisen aineiston huomiota saaneesta käytöstä maailmalla voisi mainita venäläisen Kursk-sukellusveneen uppoamiseen liittyvät tutkimukset (Koper et al., EOS, Vol. 82 No. 4 Jan 23, 2001, pp. 37–52).

Omien painoalamittausten lisäksi SGO:lla on Sodankylään Pittiövaaran sivuasemalle sijoitettu Maanmittauslaitoksen jatkuva referenssi-GPS-mittaus sekä referenssipainovoimamittauspiste, jossa Paikkatietokeskus mittaa Maan paikallista vetovoiman kiihtyvyyttä kerran vuodessa.

#### SGO:n painoaloja tukevia muita mittauksia

##### MAAN LÄHIAVARUUDEN FYSIIKKA JA KEMIA

Magneettiset pulsaatiot ovat geomagneettisen kentän nopeita vaihteluita taajuusalueella 0,01–10 Hz. Magneettisten pulsaatioiden tutkimus alkoi Sodankylän observatoriossa jo 1930-luvulla. Oulun yliopistossa ja Sodankylän observatoriossa pulsaatiotutkimus on ollut merkittävällä kansainvälisellä tasolla jo 1960-luvulta lähtien. SGO:n havaintoverkko mittaa pulsaatioita kuudella eri paikkakunnalla Suomessa.

SGO:ssa on suunniteltu uuden sukupolven entistä herkempi pulsaatiomagnetometri, jonka rakennettu prototyyppi on jo jatkuvassa mittauksessa Kilpisjärvellä. Koko havaintoverkon uusiminen ajoittuu vuoteen 2017. Pulsaatioiden alkuperä on usein aalto-hiukkasvuorovaikutuksissa

magnetosfäärissä. Esimerkiksi magnetosfäärin säteilyvyöhykkeiden tutkimus on yhä tärkeämpää, sillä satelliittitoiminta kasvaa jatkuvasti ja satelliitit voivat häiriintyä ja vaurioitua magnetosfäärissä tapahtuvien voimakkaiden avaruussäätömiöiden vuoksi. Tällöin korostuu jatkuvien maanpintamittausten merkitys hetkittäisten satelliittimittausten tukena. SGO:n pulsaatiomagnetometri-verkon suuri etu on sen ulottuminen koko Suomen alueelle ja revontulivyöhykkeen eteläpuolelle. Verkon olemassaolo tukee säteilyvyöhykettä mittaavia uusia tutkimussatelliitteja. Lisäksi uuden sukupolven laitteiden verkko kykenee mittaamaan sellaisia Maa-ionosfääriaaltoputken ominaisuuksia, joita entinen verkko ei näe lainkaan.

Maailmalla suurta huomiota herättänyt SGO:n kampanjaluonteinen mittausta on luonnon omia äänitaajuisia radioemissioita eli ELF–VLF-aaltoja (0,2–39 kHz) rekisteröivä SGO:n mittausta häiriöttömässä ympäristössä. SGO:ssa mittaukset on aloitettu kampanjaluonteisesti jo 1970-luvulla. Laajakaistaisen rekisteröinnin vaatima suuri tallennuskapasiteetti on merkittävin syy, miksi mittauksia tehdään edelleen vain kampanjoissa. ELF–VLF-aallot ovat merkittävässä roolissa aalto-hiukkasvuorovaikutuksen aiheuttamassa elektronien pommituksessa ilmakehään säteilyvyöhykkeiltä. Nykyisin maanpinnalla tehtyjen rekisteröintien käyttö satelliittimittausten verifiointissa ja tulkinnassa on yhä tärkeämpää. SGO:ssa kehitetty analyysimenetelmä on avannut maailmanlaajuisesti uusia tutkimussuuntia ja tämän johdosta aivan viime aikoina datapyyntöjen määrä on moninkertaistunut.

## RADIOTIEDE

SGO:n matemaattisen inversiotutkimuksen huippututkimuksessa on kehitetty parannuksia useisiin tomografiasovelluksiin, joista yksi on ionosfäärin satelliittitomografia. SGO:n satelliittitomografavastaanotinketju (aloitettu 2002) käsitti aluksi viisi asemaa, joista nykyisin on toiminnassa kolme. Satelliittien lähettämien signaalien vaihesiirtymä mitataan maanpinnalla ohjelmoitavaan radiotekniikkaan pohjautuvilla vastaanottimilla. Mittauksista laskettu informaatio antaa tulokseksi ionosfäärin elektronitiheysprofiilin signaalin kulkemalla reitillä.

Yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen kanssa SGO:n radiotieteen laboratorio uudistaa laitteiston ja hankkii uuden teknologian monisatelliittivastanottoon kykeneviä vastaanottimia yhteensä 10 vuosina 2016–2017 niin, että EISCAT\_3D-tutkalaitteiston valmistuessa Suomen ja Skandinavian alueella on toiminnassa laitosten yhteinen EISCAT\_3D:n mittausaluetta laajentava Tomoscand-satelliittitomografiaverkko.

Uusien tutkamenetelmien kehittämiseen tarvitaan alusta, jolla voidaan kokeilla teoriaa käytännössä ja kehittää uusia sovelluksia. KAIRA-asemaa on jo käytetty osin tällaiseen vastaanototeknologian kehitystyöhön. Lisäksi tähän tarkoitukseen SGO:lla on jo hankittuna 10 GHz:n taajuudella toimiva pienitutka. Kun EISCAT luopuu isosta lautasantennistaan Sodankylässä EISCAT\_3D-tutkan valmistuessa, on Oulun yliopisto valmistautunut ottamaan antennin SGO:n

radiotieteen laboratorion omaan tutkimuskäyttöön. Tällöin 10 GHz:n tutkan tekniikka voidaan siirtää entiselle EISCAT-antennille, ja antenniin voidaan suunnitella uusia syöttöratkaisuja.

## KOSMINEN SÄTEILY

SGO:n tutkijat ovat perustaneet FinARP-rahoituksella neutronimonitorin Etelämantereelle italialaiselle Dome C -asemalle (aloitettu 2015). Paikka on paras mahdollinen koko maapallolla kosmisen säteilyn tutkimukseen, koska se sijaitsee napa-alueella ja 3000 metrin korkeudessa.

## SEISMOLOGIA

Oulun yliopiston infrastruktuurirahoituksen ja EAKR-rahoituksen avulla hankittua, liikuteltavaan asennukseen soveltuva seismometriverkkoa, eli SEISLAB-laitteistoa, käytetään erilaisissa mittauskampanjoissa mm. mikroseismisen aktiivisuuden mittaamiseen. Laitteistolla voidaan luodata maankuoren rakennetta kaivosympäristöissä. Mittauksia on tehty Oulun alueella Kivisydän-parkkihallin rakentamisen aikana ja Pyhäsalmen kaivoksen alueella. SGO omistaa 40 sensoria datankäsittelylaitteineen ja Oulu Mining School on hankkimassa 60 sensoria. Lisäksi käytettävissä on SGO:n 11 mobiilia laajakaistaista seismistä instrumenttia.

## SGO:n ylläpitämät vieraslaitteet

Monet tutkimuslaitokset ovat tuoneet omat mittalaitteensa SGO:n hoidettaviksi. Lähtökohtana tällaisissa järjestelyissä on poikkeuksetta tieteellinen yhteistyö SGO:n ja kyseisen laitoksen välillä. SGO:n tekemä ylläpitotyö korvataan usein sopimuksin, joilla SGO:lle annetaan lupa käyttää kyseisen mittalaitteen aineistoa tutkimuksessa. Nykyiset infrastruktuurirahoitusmallit eivät anna rahoitusta laitteiden operatiivisiin kustannuksiin, vaan ainoastaan mittauksen perustamiseen ja laitteiden hankintakustannuksiin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että valtaosalla yhteistyökumppaneista ei ole mahdollisuutta korvata SGO:n ylläpitoa muulla tavalla. Tällä hetkellä vieraslaitteiksi voidaan lukea:

- Ilmatieteen laitoksen magnetometrit Pohjois-Suomessa,
- englantilaisten SLICE-meteoritutka Tähtelässä,
- englantilaisten IRIS riometri Kilpisjärvellä,
- englantilaisten Fabry-Perot -interferometri Pittiövaarassa,
- amerikkalainen salamapaikannusverkon vastaanotin Pittiövaarassa,
- ruotsalainen infraäänivastanotinjärjestelmä Pittiövaarassa,

- unkarilaisten AWDA-vihellysaaltojen rekisteröintilaitteisto Tvärminnessä ja Oulussa,
- kiinalaisten paikannussatelliittisignaalin skintillaatiovastaanotin Tähtelässä
- japanilaisten revontulikamera Pittiövaarassa

## Pysyvien mittaustehtävien periaatteet

Korkeatasoiset observatoriahavainnot vaativat seuraavien periaatteiden noudattamista pitkäaikaisessa havaintotoiminnassa:

1. Osallistumista kansainvälisiin ja kansallisiin havaintoverkkoihin ja havaintojen toimittamista kansainvälisiin datakeskuksiin sovitussa formaateissa
2. Jatkovaa havaintojen jatkuvuuden ja laadun seuranta
3. Asianmukaista havaintoaineiston arkistoinnin suunnittelua ja toteutusta metatietoiin fyysisesti useaan paikkaan
4. Havaintolaitteiden jatkuvaa huoltoa, säännöllisiä kalibrointeja, mittausteorioiden ja -standardien seuranta
5. Kansainvälisten havaintostandardien toteuttamista, seuraamista ja kehittämistä
6. Osallistumista havaintoverkkojen toimintaa ohjaaviin kansainvälisiin organisaatioihin

Edellä mainittuihin kohtiin liittyviä tärkeitä organisaatioita ovat International Union of Radio Science (URSI) ja International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) ja edelleen sen alaosastot, kuten International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) ja International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA).

## Observatorion yksiköt

SGO:n organisaatiossa on johtajan alaisuudessa kolme toimintayksikköä: havaintoyksikkö, tutkimusyksikkö ja tekninen yksikkö. SGO:n budjetissa yksiköitä ei ole eritelty omiksi sisäisiksi tulosalueiksi, vaan kokonaisbudjetti koostuu laitoksen perustoimintaprojektista ja ulkopuolisen rahoituksen projekteista. Tavoitteena on siirtyä vuoden 2017 alusta kahteen sisäiseen tulosalueeseen, jotka ovat havaintotoiminta ja tutkimustoiminta.

Tutkimusyksikkö ja havaintoyksikkö yhdessä toteuttavat valtakunnallista tehtävää siten, että laadunvalvonnan edellyttämästä tutkimustyöstä osa ja kehitystyö kokonaan tehdään tutkimusyksikön vastuulla.

## Tutkimus- ja kehitystyö

SGO:n tutkimus on oleellinen osa valtakunnallisen tehtävän menestyksellisen hoitamisen edellyttämästä laadunvarmistuksesta. Kansainvälisessä kilpailussa menestyminen edellyttää myös korkeatasoista mittaustoiminnan kehitystyötä, jota ei yksin havaintoyksikköön vakinaisesti palkattu henkilökunta kykene hoitamaan.

Tutkimustuloksen korkea taso SGO:ssa näkyy kahtena Suomen Akatemian rahoittamana huippuyksikkönä Oulun yliopistossa. Matemaattisen inversiotutkimuksen ja avaruusilmaston tutkimuksen rinnalla korkeatasoisena tuloksena voidaan myös pitää SGO:n omaa aeronomian alan tutkimusta, jota tehdään yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen ja kansainvälisten yhteistyökumppanien kanssa. Tämä tutkimus hyödyntää SGO:ssa alun perin omien radiomittausten ja EISCAT-mittausten tulkintaan kehitettyä ionikemiamallia SIC (Sodankylä Ion Chemistry), joka on tuottanut jo yli 70 kansainvälistä referoittua julkaisua.

Tutkimus- ja kehitystyö hyödyntää kahta suurta ESFRI-tiekartan hanketta EPOS ja EISCAT\_3D, joihin kumpaankin on saatu ja tullaan jatkossa hakemaan lisää ulkopuolista rahoitusta, mukaan lukien EU-rahoitus. Yliopiston vuonna 2016 saaman Suomen Akatemian myöntämän profiointirahoituksen käyttö 2017–2020 tukee yliopiston strategialaintojen mukaan tätä linjausta, jossa yliopisto on jo aiemmin sijoittanut strategista infrastruktuurirahoitustaan SGO:n toimintoihin. Jatkossakin yliopiston voimakas taloudellinen tuki on avainasemassa SGO:n tutkimustuloksen luomisessa.

## Rahoitus

Observatorion päätehtävä, jatkuvien geofysikaalisten mittausten ylläpito, rahoitetaan pääosin Oulun yliopiston vuosittain myöntämästä perusrahoituksesta. Yliopistoon liittymisestä alkaen valtakunnallisiin tehtäviin tarkoitettu perusrahoitus on tullut opetus ja kulttuuriministeriöltä (OKM) Oulun yliopiston rahoituksen yhteydessä, mutta erikseen SGO:lle korvamerkittynä. Tämä rahoitus on ollut tietyllä tasolla aina kolme vuotta kerrallaan, johon on lisätty kunakin vuonna virka- ja työehtosopimusten mukaiset korotukset.

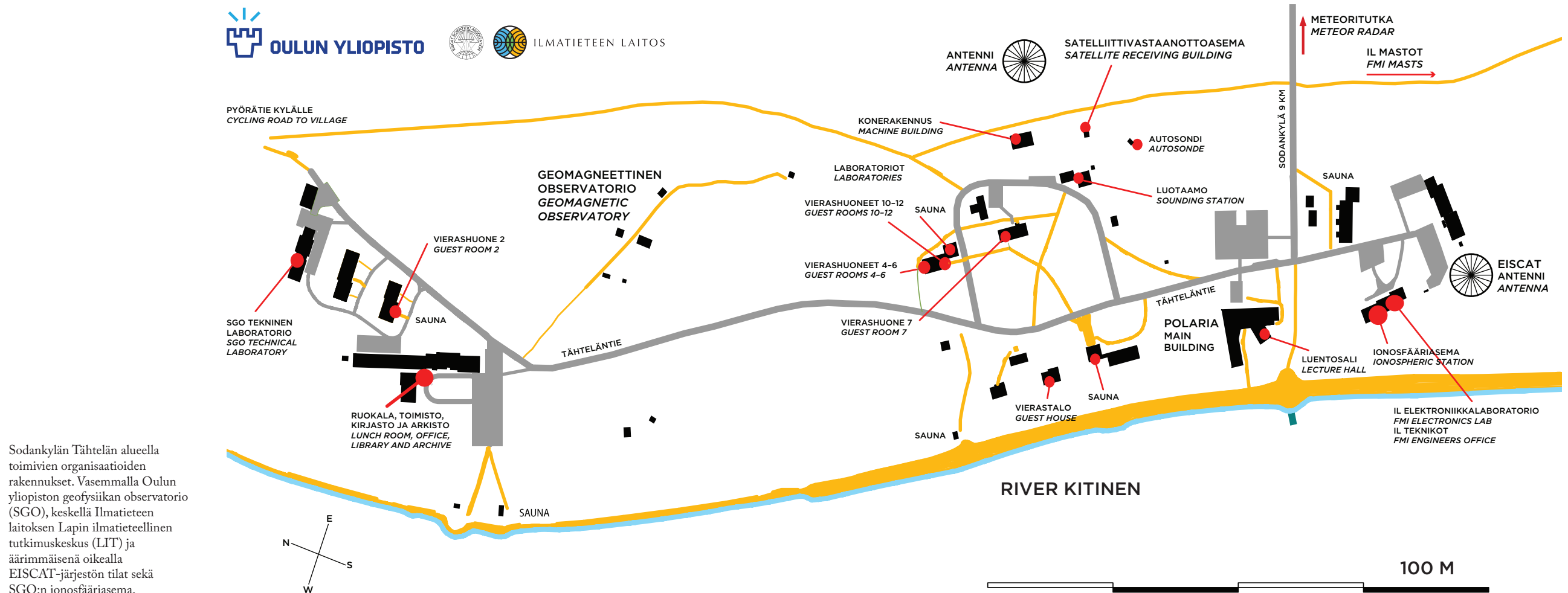
Tällä vuosituhannella OKM:n suora rahoitus on kasvanut tasaisesti 1 160 000 eurosta (v. 2000) 2 100 000 euroon (v. 2013), jonka jälkeen on tultu alas 1 900 000 euroon (v. 2016). Samana aikana ulkopuolinen rahoitus on ollut vuosittain noin miljoona euroa (vaihteluvälin ollessa 0,5–1,4 miljoonaa euroa).

Observatorio oli alkujaan muutaman henkilön ylläpitämä mittausasema. Sadan vuoden kuluessa siitä on kehittynyt täysimittainen kansainvälinen tutkimuslaitos, jonka päätehtävä on edelleen laadukkaiden mittausten tekeminen. Henkilökunnan määrä on ollut huippuvuosina



jopa yli 60 sisältäen projektityöntekijät, erilaiset harjoittelijat sekä työllisyysvaroin sijoitetut henkilöt. Työvoimapolitiittisen rahoituksen sääntöjen muututtua vuonna 2008 niin, etteivät valtion laitokset saaneet enää sijoittaa tukityöllistettyjä, SGO ei saanut työllisyysvaroin palkattuja henkilöitä enää lainkaan, kunnes vuonna 2010 yliopistoista tuli julkisoikeudellisia laitoksia, joilla on itsehallinto. Tuon jälkeen SGO:ssa on ollut kaksi henkilöä työvoimapolitiittisella rahoituksella. Viime vuosina rahoitustilanteesta riippuen henkilökunnan määrä on vakiintunut noin 30 henkilöön.

Mittausten laatu voidaan varmistaa vain tekemällä tutkimusta omasta mittausaineistosta ja siksi on tärkeää, että observatorio rahoittaa osittain myös tutkimustoimintaa. Pääosa tutkimusrahoituksesta tulee kuitenkin ulkopuolisilta rahoitusorganisaatioilta, tärkeimpänä Suomen Akatemia, joka lisäksi rahoittaa SGO:n kannalta keskeisen EISCAT-yhteisön Suomen jäsenmaksun. Muita kansallisia rahoittajia ovat muiden muassa TEKES, Lapin liitto, Väisälän rahasto, Suomen Kulttuurirahasto ja Oulun yliopiston Thule-instituutti.



Sodankylän Tähtelän alueella toimivien organisaatioiden rakennukset. Vasemmalla Oulun yliopiston geofysiikan observatorio (SGO), keskellä Ilmatieteen laitoksen Lapin ilmatieteellinen tutkimuskeskus (LIT) ja äärimmäisenä oikealla EISCAT-järjestön tilat sekä SGO:n ionosfääriasema.

2.

---

**OBSERVATORION  
TOIMINTOJEN  
KEHITTYMINEN**

Sodankylän geofysiikan  
observatorion päärakennus  
1930-luvulla.  
(Kuva: Ilmatieteen laitos)



## 2.1

# MAGNEETTISET MITTAUKSET SODANKYLÄSSÄ

Tero Raita & Heikki Nevanlinna

### Johdanto

Kun Sodankylän observatorio perustettiin vuonna 1913, sen päätehtävä oli toimia geomagneettisena observatoriona Suomalaisen Tiedeakatemian alaisuudessa. Observatorion rekisteröinneillä tulisi olemaan tehtävä vertailuasemana Pohjois-Suomen magneettisessa kartoituksessa, joka oli Meteorologisen keskuslaitoksen vuonna 1910 käynnistämä hanke. Vastaavanlaisia observatoriota oli tuolloin maailmalla toiminnassa useita kymmeniä, mutta Sodankylä oli perustamisensa aikaan niistä pohjoisin ja ainoa pohjoisen napapiirin sisäpuolella sijaitseva asema. Observatorion magneettiset havainnot tulisivat siten olemaan alan tiedeyhteisön suuren mielenkiinnon kohteena, koska magneettiset häiriöt ja myrskyt esiintyvät pohjoisilla leveysasteilla voimakkaampina kuin etelämpänä ja siten uudet magneettiset aineistot tarjoaisivat uutta materiaalia alan tutkijoille.

Sodankylän uusi observatorio jatkoi magneettisten havaintojen perinnettä, joka oli alkanut Helsingin magneettis-meteorologisen observatorion perustamisen myötä vuonna 1838. Helsingin observatorion havainnot lopetettiin vuonna 1911 ympäristöhäiriöiden vuoksi (Nevanlinna, 2011). Lähinnä Suomea sijaitseva magneettinen observatorio oli Venäjällä Pavlovskissa lähellä Pietarin kaupunkia. Siellä kalibroitiin Sodankylän magneettisen observatorion instrumentteja aina Venäjän vallankumousvuoteen 1917 saakka. Pavlovskissa myös koulutettiin Sodankylän polaarivuoden 1882–1884 magneettikentän havainnontekijät.

Koska magneettikenttä fysikaalisena suureena on vektori, on tunnettava sen kolme kohtisuoraa magneettikentän komponenttia koko vektorin suunnan ja voimakkuuden määrittämiseksi.

Tarvitaan siis kolme erillistä rekisteröintilaitetta, magnetometriä, koko magneettikentän muutoksien seurantaan. Perinteisesti mittaukset ja rekisteröinnit kohdistuvat magneettikentän pystykomponenttiin ( $Z$ ) ja vaakakomponenttiin ( $H$ ) sekä magneettikentän vaakapoikkeamaan pohjoisuunnasta (eranto tai deklinaatio) ( $D$ ) (Nevanlinna, 2009a).

Geomagneettinen kenttä muuttuu kaiken aikaa, minkä vuoksi rekisteröintien tulee olla jatkuvia, jolloin lyhytkestoisetkin magneettikentän vaihtelut tulevat taltioituksi. Ympäristössä ja mittaustiloissa ei saa olla ylimääräistä magneettista materiaa tai muuta sähkömagneettista saastetta, joka keinotekoisesti vääristäisi saatuja havaintotuloksia. Rekisteröintihuoneen lämpötilavaihtelujen tulee olla myös mahdollisimman pieniä, koska magnetometrit ovat herkkiä lämpötilan muutoksille. Magneettiset rekisteröintilaitteet sijoitetaan tukevien kivipilareiden varaan, jotta ne pysyvät vakaasti oikeassa asennossa. Kaikki nämä ehdot asettavat mittaussympäristölle ja -rakennuksille korkeat laatuvaatimukset.

Magneettisessa observatoriossa, kuten Sodankylässä yli 100 vuotta sitten ja nykyäänkin, magneettikentän havainnot muodostuvat kahdesta kokonaisuudesta: erillisessä tilassa, niin sanotussa vaihteluhuoneessa, rekisteröidään magneettikentän jatkuvia vaihteluja variometreiksi kutsutuilla magnetometreillä, joiden havaitsemat magneettikentän vaihtelut taltioituvat piirtojalkeenä magnetogrammeihin tietyn perustason suhteen. Nykyään vaihtelut perustason suhteen tallennetaan digitaalisesti suoraan tietokoneelle. Perustason absoluuttisen tason määrittäminen tapahtuu omilla erikoismagnetometreillä erillisessä rakennuksessa, jota kutsutaan absoluuttihuoneeksi. Mittaukset absoluuttihuoneessa tehdään tyypillisesti kerran viikossa, jolloin vaihteluhuoneessa tapahtuvat jatkuvat rekisteröinnit saadaan riittävällä tarkkuudella kaikkina aikoina absoluuttiseen tasoon sillä olettamuksella, että muutokset variometrien perustasossa ovat vain hyvin hitaita ja lineaarisia.

Geomagneettisten vaihteluiden aikaskaala ulottuu muutamasta sekunnista vuosiin ja vuosikymmeniin, joten koko vaihtelualueen seuraamiseksi tarvitaan pitkäjänteisiä havaintoja. Havaintojärjestelmien tulee tuottaa homogeenisiä aikasarjoja hitaiden sekulaaristen muutosten seuranta varten. Helsingin magneettisessa observatoriossa magneettikentän vaihteluja seurattiin lähes 70 vuotta samoilla laitteilla ja samoilla havaintorutiineilla. Sodankylässä on tullut täyteen jo 100 vuotta jatkuvia mittauksia.

## Sodankylän magneettisen observatorion alkutaival

Helsingin observatoriossa ja Sodankylän polaarivuoden asemalla magneettikentän mittaukset tehtiin visuaalisesti havaintojen seurauksena kaukoputkella magneettien liikkeitä. Mittaukset olivat tyypillisesti kerran tunnissa tehtäviä hetkittäishavaintoja (Nevanlinna, 1999). Sodankylän uudessa observatoriossa käyttöön otettiin aikakauden moderneimmat magneettiset laitteet.

Rekisteröinti tapahtui valokuvauspaperille, magnetogrammille, automaattisesti, kun variometriin magneetteihin kiinnitetyt peilit ohjaavat valolähteestä magneettien suunnan muutokset valokuvauspaperille, johon tallentuu muutoksista kertova valotusjälki. Sodankylän observatorion alkuaikoina magnetogrammissa 20 mm pituinen jälki vastasi yhden tunnin aikana tapahtunutta magneettikentän vaihtelua. Grammipaperit vaihdettiin kerran vuorokaudessa. Valolähteenä oli aluksi öljylampun tuottama valo ennen sähkölampujen aikakautta 1930-luvulla. Samalle magnetogrammille ohjautuvat kaikkien kolmen komponentin vaihtelut erityisellä prismajärjestelyllä.

Magneettisissa mittauksissa ja rekisteröinneissä tarvittavat laitteet tilattiin jo vuonna 1910 Saksasta Potsdamista. Siellä vaikutti tunnetun ja arvostetun hienomekaanikon Otto Toepferin (1845–1914) johtama yritys, joka oli toimittanut magneettisia ja muita tieteellisiä instrumentteja useisiin eri maihin. Otto Toepferin johdolla työstettiin Sodankylään tulevat laitteet, jotka olivat samoja kuin mitä Saksassa oli käytössä. Kyseessä olivat magneettikentän deklinaation rekisteröintiin käytettävä niin sanottu unifilaarimagnetometri (variometri)<sup>17</sup> ja vastaavat laitteet vaaka- ja pystykomponentin vaihtelujen rekisteröintejä varten. Laitteet oli tarkoitettu magneettikentän jatkuviin rekisteröinteihin vaihteluhuoneessa. Näiden lisäksi myöhemmin hankittiin absoluuttiset vaihteluhuoneessa tehtävien rekisteröintien kalibrointejä varten. Näihin kuului muiden muassa Gaussin magnetometri, joka 100 vuotta sitten oli ainoa laite, jolla voitiin määrittää magneettikenttävektorin (vaakasuoja) voimakkuus.

Sodankylän observatorioon tulevien laitteiden valmistusta valvoi Potsdamissa Tiedeakatemian puolesta Elias Hintikka<sup>18</sup>. Variaatiokojeet saapuivat Saksasta Hankoon laivarahtina, mistä ne kuljetettiin junalla Rovaniemelle. Loppumatka Sodankylään taittui hevoskyydillä toukokuun alussa 1913.

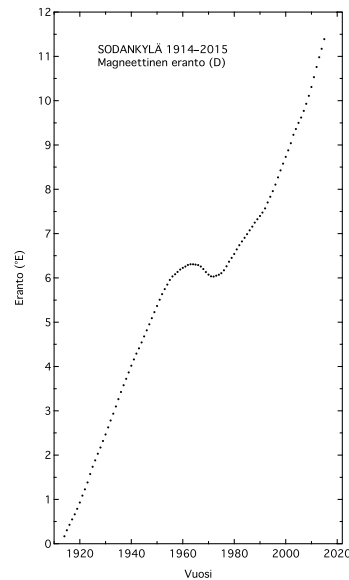
Syksyllä 1912 Keränen matkusti viideksi kuukaudeksi Saksaan Potsdamin observatorioon ja Berliinin yliopistoon täydentämään geomagneettisia opintojaan. Tehtäviin kuului myös seurata Sodankylän observatoriolle tilattujen magnetometriin valmistusta ja tehdä niille tarvittavia kalibrointimittauksia. Potsdamin opintomatka kesti maaliskuulle 1913, jolloin Keränen palasi Suomeen ja Sodankylään johtamaan observatorion valmistumista ja magneettisten rekisteröintikojeiden kuljetusta ja asennusta. Jaakko Keränen nimitettiin Sodankylän observatorion johtajaksi Suomalaisen Tiedeakatemian kokouksessa toukokuussa 1913 (Nevanlinna, 2014b).

Keräsen Saksan opintomatkan aikana Sodankylän observatorion rakennustyötä valvoi Vilho Väisälä loppuvuodesta 1912 lähtien Keräsen tulon saakka. Hänen tärkein tehtävänsä oli huolehtia siitä, että observatoriorakennuksiin tulevat peruskivet ja lämmitysunit olisivat mahdollisimman vähämagneettista materiaalia. Kivet saatiin läheisen Orakosken kvartsiittiesiintymästä, jossa

<sup>17</sup> Unifilaarinen tarkoittaa magnetometriä, jossa yhden ripustuslangan varassa on kääntyvä magneetti. Käytössä oli 1900-luvun alussa myös bifilaarisia laitteita, joissa magneetti oli ripustettu kahden langan varaan (Nevanlinna, 2011).

<sup>18</sup> Hintikka oli aloittanut Meteorologisella keskuslaitoksella magneettikentän mittaustehtävissä vuonna 1910.





Sodankylän observatorion magneettikentän eranto eli deklinaatio vuosikeskiarvoina 102-vuotiskaudelle 1914–2015. Muutos edustaa geomagneettisen kentän hidasta vaihtelua, niin sanottua sekulaarimuutosta. Rekisteröintien alussa eranto  $\approx 0^\circ$  siis lähes todelliseen pohjoisuuntaan, mutta vuotuinen sekulaarimuutos on nostanut erannon nykyiseen lähes  $12^\circ$  kulmaan pohjoisesta itään. (Kuva: Heikki Nevanlinna)

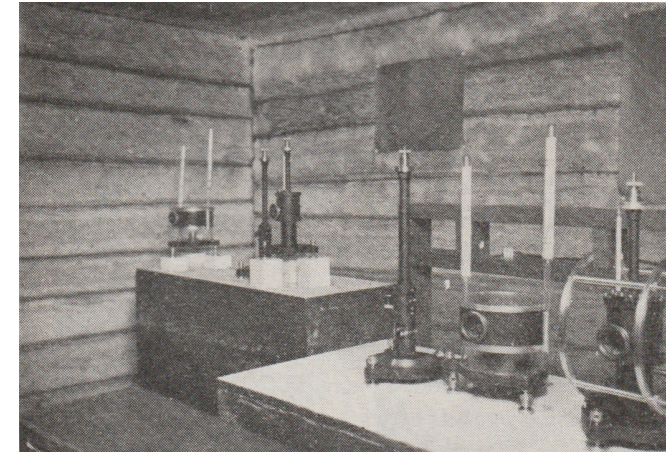
kiviaines on lähes raudatonta (Melander, 1914). Työ osoittautui kuitenkin aikaa vieväksi, kun jokaisen pilarin mahdollinen magneettisuus piti tutkia tarkkaan.

Magneettikentän havaintolaitteisto oli valmiina joulukuussa, jolloin jatkuvat rekisteröinnit alkoivat. Virallisesti aloituspäivä oli 1.1.1914.

Sodankylän magneettinen observatorio oli samalla Meteorologisen keskuslaitoksen ensimmäisen luokan sääasema, jonka meteorologiset mittaukset olivat samaa vaatavuustasoa kuin keskuslaitoksen havainnot Helsingin Kaisaniemessä ja Ilmalassa. Säähavaintoasema oli ollut toiminnassa Sodankylän kirkonkylässä jo vuodesta 1908 lähtien, mutta se siirrettiin sieltä observatorion alueelle 1914. Säännölliset meteorologiset havainnot aloitettiin yhdessä jatkuvien magneettisten rekisteröintien kanssa.

Jaakko Keränen jätti Sodankylän observatorion johtajan tehtävät elokuussa 1917, ja hän siirtyi Helsinkiin Geodeettisen laitoksen palvelukseen. Uudeksi johtajaksi valittiin Heikki Lindfors (1892–1918). Hänen johtajakautensa jäi kuitenkin lyhyeksi, sillä Lindfors lähti sisällissotaan valkoisten puolelle yhdessä observatorion vahtimestarin kanssa. Lindfors kaatui Tampereen valloitustaistelussa maaliskuussa 1918. Johtajan ja vahtimestarin poissa ollessa observatorion magneettiset rekisteröinnit ja havainnot keskeytyivät yli kolmen kuukauden ajaksi. Uudeksi johtajaksi valittiin Turusta Elias Levanto (1890–1970), joka oli virassaan kolme vuotta 1918–1921. Hänen jälkeensä Sodankylän johtajana oli Heikki Hyyryläinen vuoteen 1927 saakka. Heidän aikanaan magneettiset havainnot ja rekisteröinnit olivat toiminnassa siinä laajuudessa kuin mihin ne jäivät Jaakko Keräsen jälkeen.

Asuinolot Sodankylän observatoriossa olivat huonot ja johtajalle maksettava palkka oli pienentynyt sisällissodan aikana murto-osaan entisestä. Siksi Levannon ja Hyyryläisen johtajakaudet jäivät melko lyhyiksi. Molemmat johtajat siirtyivät parempien taloudellisten mahdollisuuksien perässä koulumaailmaan, Levanto Vaasaan ja Hyyryläinen Kajaaniin oppikoulujen opettajiksi.



Näkymä Sodankylän observatorion vaihteluhuoneeseen 1930-luvulla. Etualalla oikealla on La Cour -tyyppinen normaalirekisteröinti ja sen kolme variometriä D-, Z- ja H-komponenttia varten. Vasemmalla niin sanottu pikarekisteröinti. (Sucksdorff, 1952)

## Sodankylän observatorion magneettiset mittaukset kehittyvät

Ensimmäiset suuremmat muutokset Sodankylän observatorion magneettisissa rekisteröinneissä tehtiin ennen toisen polaarivuoden (1932–1933) alkua, kun observatorion uusi johtaja Eyvind Sucksdorff oli tarmokkaasti ryhtynyt laajentamaan ja ajanmukaistamaan observatorion laitteistoa ja havainto-ohjelmaa. Uusi vaihteluhuone valmistui vuonna 1931. Sinne sijoitettiin uudenlaiset tanskalaiset La Cour<sup>19</sup>-tyyppiset vaihtelukojeeet ja erityinen kymmenen kertaa tavallista nopeammin rekisteröivä laite (Quick-Run). Pikarekisteröinti antoi aivan uuden mahdollisuuden havaita ja tutkia nopeita ja pieniamplitudisia magneettikentän heilahteluja. 1930-luvulla Sucksdorff havaitsikin pikarekisteröintien magnetogrammeista 2–3 sekunnin periodilla tapahtuvia värähtelyjä, joita nykyään kutsutaan mikropulsaatioiksi (Sucksdorff, 1936; Raita and Kultima, 2007). Myöhemmin mikropulsaatiotutkimus on laajentunut omaksi tutkimusalueekseen, jota Suomessa on erityisesti edistetty Oulun yliopistossa (esimerkiksi Mursula et al., 1991 ja tässä teoksessa Tero Raidan ja Jorma Kankaan kirjoitus).

Sodankylän magneettinen observatorio valittiin testauspaikaksi uusille Tanskassa kehitellyille magnetometreille, jotka oli tarkoitus sijoittaa Grönlantiin perustettaviin magneettisiin observatorioihin. Tehtävä merkitsi observatoriolle huomattavaa kansainvälistymistä. Eyvind Sucksdorffin ja La Courin yhteistyönä kehitettiin uudentyyppinen pieni ja helppokäyttöinen

<sup>19</sup> Dan Barfod La Cour (1876–1942) oli Tanskan meteorologisen laitoksen johtaja. Hänen suunnittelema magnetometrejä käytettiin 1930-luvulta lähtien lähes kaikissa maailman magneettisissa observatorioissa aina 1980-luvulle saakka.



Joulupostikortti vuodelta 1950, kun Suomalaisen Tiedeakatemian Sodankylän geofysikaalisesta observatoriosta erotettiin säähavainnot Ilmatieteellisen keskuslaitoksen perustamaan uuteen omaan meteorologiseen observatorioon samalle Tähtelän alueelle. Vasemmalla Tiedeakatemian observatorion uusi päärakennus ja oikealla meteorologiseen observatorioon kuuluvia rakennuksia. (KUVA: Ilmatieteen laitos)

magnetometri (Quartz Horizontal Magnetometer) (La Cour & Sucksdorff, 1936; Jankowski & Sucksdorff, 1996).

Eyvind Sucksdorff jätti Sodankylän observatorion vuonna 1945 ja siirtyi Helsinkiin Ilmatieteellisen keskuslaitoksen magneetikon tehtäviin ja samalla myös observatoriotoimikunnan sihteeriksi. Sucksdorffin seuraajan Maunu Seppäsen aikana Sodankylän magneettiset rekisteröinnit saatiin jälleen käyntiin vain vähän yli vuoden tauon jälkeen vuoden 1946 alussa. Seppäsen toimikausi jäi lyhyeksi, vain parin vuoden mittaiseksi. Hänen jälkeensä observatorion johtoon astui FM Tauno Hilpelä (1920–1952), jonka aikana observatorion toiminnalliset olosuhteet kohentuivat merkittävästi, kun asuin- ja toimistokäyttöön saatiin uusi tilava rakennus vuonna 1950 (Kuva 2.26).

Vuonna 1949 tapahtui suuri muutos Sodankylän observatorion toiminnossa, kun siellä tehdyt ilmatieteelliset havainnot siirrettiin Ilmatieteellisen keskuslaitoksen perustamaan meteorologiseen observatorioon. Molemmat observatoriot sijaitsevat vierekkäin samalla Tähtelän alueella. Näin Tiedeakatemian observatorio palasi tavallaan juurilleen vuoteen 1913, jolloin sen päätehtävä olivat magneettikentän rekisteröinnit ja aineiston muokkaus vuosikirjoiksi. Kun observatoriossa ennen tehdyt säähavainnot eivät enää olleet meteorologisen observatorion vastuulla, laitoksen toiminta jatkui tasaisena vain magneettikentän rekisteröintien parissa. Uudeksi johtajaksi Hilpelän jälkeen saatiin Turun yliopistosta Eero Kataja (1927–2014).

Katajan aloittaessa vastuullisena johtajana ainoa käynnissä oleva rutiinimittaus oli magneettikentän kolmikomponenttinen normaalierekisteröinti. Päätehtävä muodostui rekisteröintien tueksi tarvittavista absoluuttisista magneettisista mittauksista. Tehtävässään vielä varsin kokematon nuorta johtajaa ohjasi tiukasti Helsingistä observatoriotoimikunnan sihteeriksi Eyvind Sucksdorff. Kun Sucksdorff kuoli yllättäen vuonna 1955, niin observatorion johtaja joutui uuteen

tilanteeseen, koska ei ollut enää "isähahmoa ohjaamassa, mitä piti tehdä ja miten" kuten Eero Kataja kertoo Eyvind Sucksdorffin syntymän 100-vuotismuistokirjoituksessaan (Kataja, 1999b).

Suomen geomagneettiset toiminnot laajenivat merkittävästi, kun Ilmatieteellinen keskuslaitos perusti Etelä-Suomeen, Nurmijärvelle, uuden geomagneettisen observatorion. Hankkeen takana oli laitoksen johtaja Jaakko Keränen, mutta observatorion mittausten suunnittelun ja toteutuksen teki Eyvind Sucksdorff. Observatorion perustamisen motiivina oli koko maassa tehtävät magneettiset kartoitustyöt, joilla päivitettiin Keräsen ja hänen kollegojensa tekemät magneettiset mittaukset vuosisadan alussa. Nurmijärven magneettinen observatorio oli tukiasema Etelä-Suomessa tehtäviin mittauksiin ja Sodankylä Pohjois-Suomen magneettisten havaintojen apuna.

Sodankylän observatoriossa saatettiin magneettiset mittaukset paremmin ajan tasalle vuonna 1953. Silloin hankittiin Tanskasta kaksi kolmikomponenttista La Cour -tyyppistä rekisteröintijärjestelmää. Toinen oli niin sanottua jäykkää mallia, joka soveltui erityisesti suurten magneettisten myrskyjen seuraamiseen, mitä ei tavallisella laitteistolla voinut tehdä magneettien liikkeiden ollessa liian nopeita valokuvarekisteröintiin. Toinen rekisteröintikoje oli tarkoitettu pienten magneettikentän variaatioiden (mikropulsaatioiden) monitorointiin. Näin Sodankylän magneettikentän rekisteröintilaitteisto oli saatu taas vastaamaan kansainvälisen observatorioyhteisön vaatimuksia. La Courin laitteet magneettikentän analogisissa rekisteröinneissä olivat jatkuvassa käytössä aina vuoteen 1986, jolloin observatoriossa siirryttiin digitaalisesti rekisteröiviin laitteisiin.

Magneettikentän absoluuttimittauksiin  $H$ -komponentin osalta oli käytössä aluksi Gaussin menetelmää soveltava teodoliitti magneetteineen. Mittaus oli hankala ja hidas sekä melko epä-tarkka. Deklinaation absoluuttinen mittaaminen onnistuu varsin yksinkertaisella mittauksella, kun tähtitieteellisellä havainnolla ensin määritetään absoluuttihuoneessa todellinen pohjoisuunta, jonka suhteen eranto havaitaan teodoliitin avulla. Vertikaalikomponentin mittaus tapahtui maainduktorin avulla. Aivan 1950-luvun alussa useissa magneettisissa observatorioissa otettiin absoluuttimittausten avuksi Tanskassa kehitetty magneettikentän vaakakomponentin mittauslaite QHM, joka säilyttää kojevakionsa hyvin.

Jo Eyvind Sucksdorffin aikana muodostui eri pohjoismaisten magneettisten observatorioiden välille tiivis yhteistyö, joka jatkui sodan aiheuttaman katkon jälkeen. Ensimmäinen pohjoismaainen yhteiskokous pidettiin Sodankylässä vuonna 1950 uuden päärakennuksen vihkiäisten yhteydessä. Kokousperinnettä on jatkettu nykypäivään asti. Tapaamisen yhteydessä on tehty kojevertailuja eri observatorioiden standardien välillä lähinnä QHM-laitteiden ja kokonaiskenttää mittaavien protonimagnetometriä avulla. Myöhemmin vertailukojeena on ollut nykyobservatorioiden standardilaitte DI-Flux (Jankowski and Sucksdorff, 1996). Näin varmistetaan se perusasia, että eri observatorioissa on mittaustarkkuudessa sama magneettikentän perusstandardi. Järjestyksessä 45. pohjoismaainen vertailumittaus järjestettiin Sodankylässä vuonna 2009.



## Uusia havaintolaitteita

Kansainvälinen geofysiikan vuosi 1957–1958 ja sitä seuraava yleismaailmallinen hanke IQSY (International Quiet Sun Year) toivat Sodankylän magneettiselle asemalle uusia tehtäviä (Seppinen, 2004). Observatorioon sijoitettiin mikropulsaatiohavaintoihin tarkoitettut magnetometrit ja induktiokelat. Laitteet tulivat Länsi-Saksasta Göttingenin yliopistosta (Grenet-pulsaatiovariometri) ja Yhdysvalloista NOAA:sta ja Alaskan yliopistosta. Vastaavia laitteita asennettiin myös Nurmijärven magneettiseen observatorioon. Näistä rekisteröinneistä sai alkunsa myös suomalaisen pulsaatiotutkimus erityisesti Oulun yliopistossa. Tutkimusyhteistyön käynnistäjä Suomen suuntaan oli professori Victor Hessler (1903–1999) Alaskan yliopistosta.

Sodankylän magneettisen aseman instrumentointia parannettiin merkittävästi vuonna 1965, kun mittauskalustoa täydennettiin protonimagnetometrillä (Elsec), jolla absoluuttimittauksen yhteydessä saadaan mitattua magneettikentän kokonaisvoimakkuus suurella tarkkuudella ja mittausteknisesti vaivattomasti. Kun protonimagnetometrin sensori yhdistettiin Helmholtz-keloihin voitiin myös magneettikentän  $H$ -komponentin absoluuttitaso määrittää tarkasti, jolloin vanhat QHM-laitteet jäivät varakoneiksi. Samanlainen instrumenttikehitys oli tapahtunut melkein kaikissa moderneissa magneettisissa observatorioissa. Seuraava merkittävä laitehankinta tapahtui vuonna 1984, jolloin absoluuttimittauksissa siirryttiin käyttämään vuoveräjä- eli fluxgate-tyyppisiä antureita.

Tero Raita tekee Sodankylän observatorion absoluuttihuoneessa magneettikentän mittausta DI-flux -laitteella. (Kuva: SGO)



# L5

## TÄHTELÄN TUHO LAPIN SODASSA 1944

Suomen Talvisota 1939–1940 ei suoranaisesti vaikeuttanut Tähtelän toimintoja, vaikka vihollisen kärkijoukot olivat joulukuussa 1939 noin 50 km päässä Pelkosenniemellä Sodankylästä kaakkoon. Neuvostoliiton ilmavoimat pommittivat Sodankylää muutama kerran sodan aikana, mutta ilman merkittäviä vahinkoja. Sodan aikana observatorion tärkeimmät arkistoidut havaintoaineistot evakuoitiin Tukholmaan, mistä ne sodan päätyttyä palautettiin takaisin Sodankylään. Mielialat Tähtelässä olivat jännittyneet sodan johdosta ja rintamalinjan läheisyydestä. Tähtelän johtaja Eyvind Sucksdorff raportoi tilanteesta esimiehelleen Helsinkiin Ilmatieteellisen keskuslaitoksen johtaja Jaakko Keräselle, että "olisi hyvä saada tänne pari sotilasta kiväreineen, niin olo olisi siitä turvallisempi". Sotilaita ei saatu, mutta apuhenkilökuntaa tuli lisää, koska armeija tarvitsi lisää säätietoja.

Jatkosodan 1941–1944 ensimmäiset vuodet sujuivat Sodankylän observatoriossa ilman sodan tuotta-

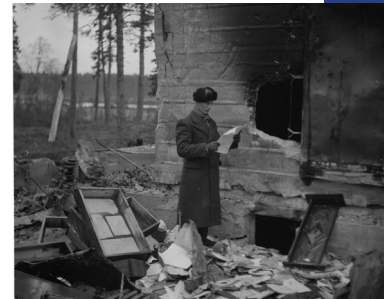
Sodankylän observatorio saksalaisten sotajoukkojen tekemän tuhon jälkeen lokakuussa 1944. Vasemmalla magneettisen vaihteluhuoneen rauniot. Jäljelle ovat jääneet vain kivipilarit, joiden päälle magneettiset rekisteröintikojeet oli sijoitettu. Taustalla näkyy säähavaintopallojen (pilotpallojen) lähetystorni. Oikealla observatorion hajalle räjäytetyn arkiston jäänteet. Kuvissa tuntematon henkilö tarkastelee tehtyjä tuhoja. (SA-kuva)

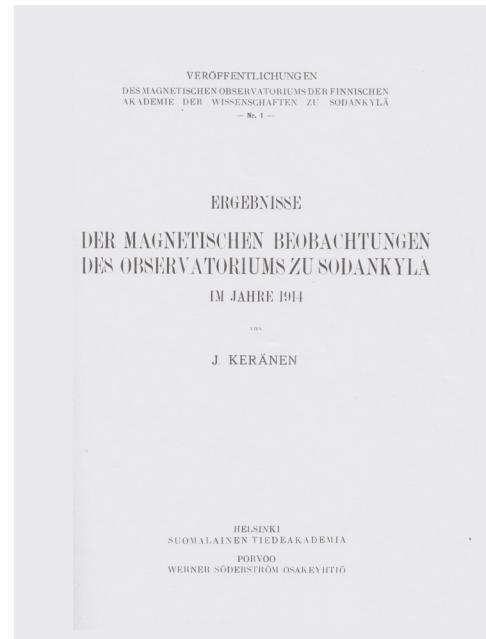
mia häiriöitä. Tilanne muuttui dramaattisesti syksyllä 1944, kun sotatoimet käynnistyivät Suomen ja Saksan välillä Lapissa. Lokakuussa 1944 observatorio joutui keskeyttämään kaikki toimintansa Lapin evakuoinnin yhteydessä. Peräytyvät saksalaiset joukot hävittivät observatorion kaikki rakennukset. Siinä tuhoutui myös merkittävä osa havaintolaitteista, kirjasto ja arkisto sekä Tähtelän johtajapariskunnan Eyvind ja Annikki Sucksdorffin koti irtaimistoineen.

Observatorion jälleenrakennustyöhön Suomen valtio ja Suomalainen Tiedeakatemia myönsivät vuonna 1945 varoja yhteensä 1 150 000 markkaa (noin 145 000 euroa), jonka turvin observatorion magneettiset mittaukset saatiin tilapäisrakennuksissa käyntiin jo vuoden 1946 alussa. Meteorologiset havainnot aloitettiin uudelleen jo joulukuussa 1944.

Olosuhteet observatoriossa olivat sangen kurjat kuten Eyvind Sucksdorffin seuraaja Maunu Seppänen kuvailee observatorion toimintakertomuksessa vuodelta 1945: "Observatorion toimistona ja samalla asuntonani oli kesän 1945 aikana armeijan kangastelta ja syksyllä kasvihuone, jonka rikorut kattoikkunat oli peitetty laudoilla ja pahvilla. Vahtimestari asui aluksi arkistorakennuksen raunion alla olevassa kellarissa. ..."

Vuonna 1950 valmistui uusi päärakennus ja observatorio pääsi jälleen säännölliseen mittaus- ja havaintotoimintaansa. Tosin kaikki meteorologiset mittaukset siirrettiin vuonna 1949 naapuritontille vastaperustetun Ilmatieteellisen keskuslaitoksen aerologiselle observatoriolle, jota oli suunniteltu toteutettavaksi jo 1930-luvun lopulla. Yhdestä havaintoasemasta oli sodan tuhoista kasvanut kaksi observatoriota.





Sodankylän observatorion magneettisista havainnoista koottu ensimmäinen vuosikirja vuodelta 1921. Se käsittää tulokset vuoden 1914 rekisteröinneistä ja havainnoista. Vuosikirjan kokosi Jaakko Keränen, mutta julkaisuun tarvittavat työlää taulukkolaskut teki observatorion assistentti Siiri Keränen.

Erikoisteodoliittiin kiinnitetty fluxgate-anturi mahdollistaa aikaisempaan verrattuna tarkemman magneettikentän mittauksen. Laite on helppokäyttöinen ja soveltuu myös mittauksiin ulkona kenttäolosuhteissa. Näin absoluuttimittauksissa käytetyt magneettiset instrumentit olivat kehittyneet uudelle tasolle, missä sensoreina ei ollut enää lainkaan magneetteja kuten vielä Sodankylän observatorion alkuvuosikymmenien laitteissa oli laita. Sama kehityskulku koski myös jatkuvia magneettisia rekisteröintejä vaihteluhuoneessa. Sodankylään saatiin digitaalisesti rekisteröivä variometri Puolasta vuonna 1984, joka 2000-luvun alussa korvattiin tanskalaista mallia olevalla kolmikomponenttisella fluxgate-variometrillä, puolalaisen instrumentin toimiessa edelleenkin varalaitteena. Niistä taltioidaan magneettikentän arvot minuuttikeskiarvoina. Lopulta vuonna 1995 vanhasta La Cour -variometrissä luovuttiin kokonaan laitteen oltua modernimpien variometrien rinnakkaisrekisteröintinä kymmenkunta vuotta.

Eero Katajan jälkeen magneettisen aseman hoitajaksi valittiin vuonna 1984 observatorion tähtitieteellisen yksikön hoitaja Johannes Kultima (1945–2014). Vuodesta 2009 lähtien magneettisista mittauksista on vastannut Tero Raita.

Aivan Sodankylän observatorion alkuajoista lähtien eräänä keskeisenä tuotteena havaintoaineistosta olivat vuosikirjat, joihin koottiin magneettisten havaintojen ohella myös meteorologiset havainnot. Säähavainnot julkaistiin Meteorologisen keskuslaitoksen vuosikirjasarjassa. Magneettisia

havaintotuloksia varten Suomalainen Tiedeakatemia oli perustanut oman sarjan *Veröffentlichungen des Geomagnetischen Observatoriums der finnischen Akademie der Wissenschaften*, jossa Tiedeakatemian hallintokauden aikana (vuoteen 1997 saakka) ilmestyi 85 erillisjulkaisua, lähinnä magneettisten rekisteröintien vuosikirja-aineistoja.

Ensimmäisen vuosikirjan julkaisi Jaakko Keränen vuoden 1914 havainnoista ja rekisteröinneistä. Kirja oli valmis jo vuonna 1916, mutta se painettiin vasta sodan jälkeen vuonna 1921 olojen normalisoiduttua (Keränen, 1921b). Kyseinen vuosikirja oli ensimmäinen kansainväliselle tiedeyhteisölle suunnattu yleiskuvaus Sodankylän magneettisen observatorion instrumentoinnista ja havaintotuloksista. Vuosikirjan taulukko-osassa on magnetometreistä lasketut magneettikentän eri komponenttien tuntikeskiarvot. Kansainväliselle tiedeyhteisölle taulukot olivat keskeistä aineistoa magneettikentän vaihteluiden tutkimuksissa. Lisäksi vuosikirjaan oli koottu olennaisia metatietoja rekisteröintilaitteista ja niissä tehdyistä muutoksista vuoden aikana. Sodankylän havainnoista julkaistaan edelleenkin, lähinnä arkistointia varten, vuosikirjoja sarjassa *Sodankylä Geophysical Observatory Publications*, vaikka kaikki magneettiset rekisteröintitulokset välitetään lähes reaaliajassa IMAGE<sup>20</sup>- ja INTERMAGNET<sup>21</sup>-järjestelmien kautta tiedeyhteisön ja kansainvälisten datakeskusten käyttöön. Sodankylän observatorion magnetismin asiantuntijat ovat avustaneet IMAGE-asemien ylläpidossa.

Merkittävä tieteellinen saavutus geomagnetismin alalla oli observatorion johtajan Eyvind Sucksdorffin väitöskirja, joka valmistui loppuvuodesta 1942 (Sucksdorff, 1942). Kyse oli kansainvälisestikin merkittävästä tutkimuksesta, missä analysoitiin Sodankylän observatorion magneettisia havaintoja melkein kahden auringonpilkkujakson ajalta 1914–1934. Väitöskirjatyö osoitti paitsi Sucksdorffin tieteellisen pätevyyden myös Sodankylän observatoriossa tuotettujen magneettisten havaintoaineistojen tieteellisiin tutkimuksiin kelpaavan laadun. Työ käsitteli niin sanottua magneettista aktiivisuutta eli sitä, miten maan magneettikenttä vaihtelee Auringon hiukkaspurkauksien ja auringonpilkkujen esiintymisien tahdissa. Aihepiiri oli tuolloin uusi, mutta nykyään se kuuluu osana laajaan ja ajankohtaiseen avaruussääilmiöiden tutkimukseen. Magneettisen aktiivisuuden tutkimuksia Sodankylän observatorion aineistoista on jatkanut myöhemmin Eero Kataja.

<sup>20</sup> IMAGE (International Monitor for Auroral Geomagnetic Effects) on noin 30 magnetometriaseman havaintoverkko pääosin Fennoskandian ja Huippuvuorten alueella. Sitä ylläpitää 10 laitosta Suomessa, Ruotsissa, Norjassa, Puolassa, Saksassa, Virossa ja Venäjällä. Havaintoverkon päätarkoituksena on mitata magneettikentän käyttäytymistä revontulia-alueella.

<sup>21</sup> INTERMAGNET on noin 100 geomagneettisen observatorion maailmanlaajuinen järjestö, jossa magneettiset tiedot välitetään reaaliaikaisesti datakeskuksiin tietyssä standardiformaatissa. Eurooppalaisten observatorioiden aineistot kootaan Edinburghissa (Skotlanti) sijaitsevaan keskuskeskukseen. INTERMAGNET on ollut toiminnassa 1990-luvun alusta lähtien.

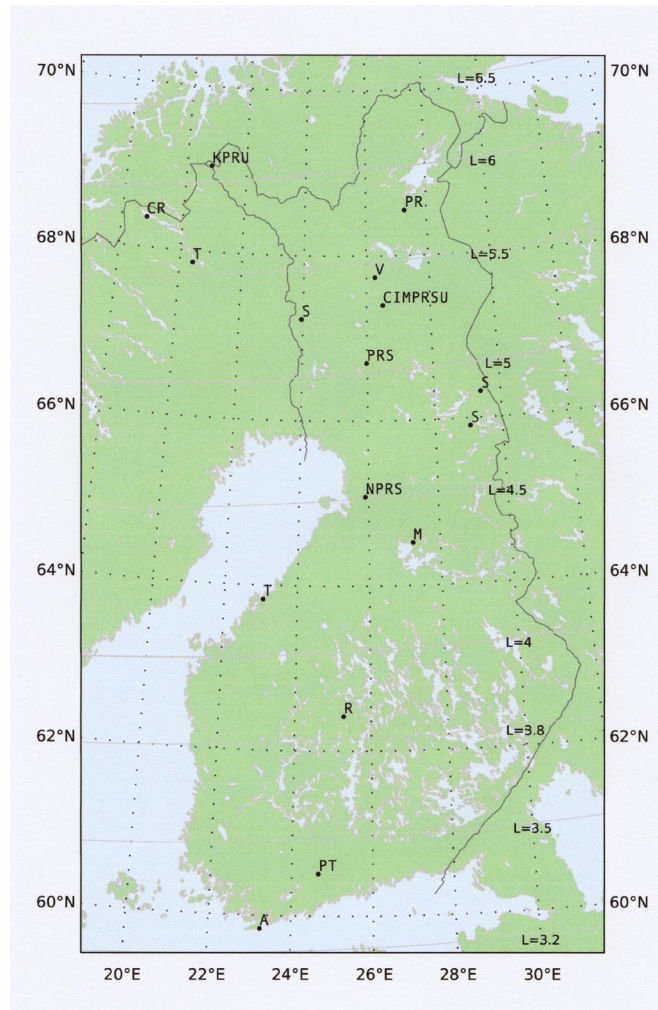


Sodankylän geofysiikan observatorion tärkeimpien havaintolaitteiden sijoituspaikat vuonna 2016.

C = Revontulikamera  
I = Ionosondi  
M = Magnetometri  
P = Pulsaatiomagnetometri  
R = Riometri  
S = Seismometri  
T = Tomografiavastaanotin  
U, V ja A = VLF-Vastaanottimet  
K = KAIRA radiovastaanotinasema.<sup>22</sup>

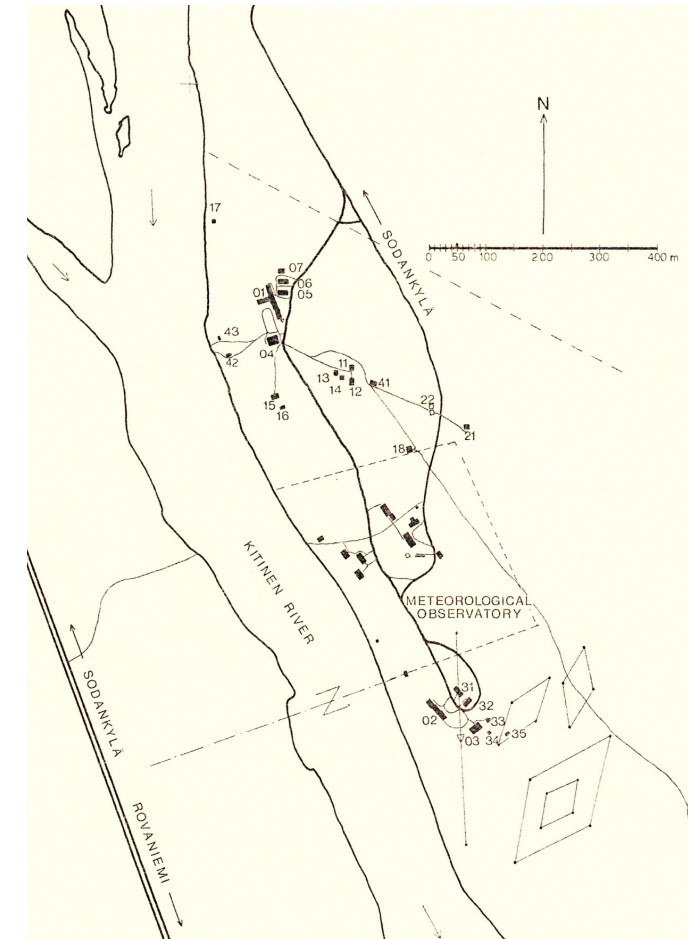
Lisäksi Huippuvuorilla Hornsundissa on riometri ja Etelämantereella revontulikamera.

Oikealla ovat ns. L-arvot, jotka antavat magneettikentän kenttäviivan etäisyyden ekvaattorilla Maan keskipisteestä Maan säteen (6372 km) yksikössä. (Kuva: SGO)



<sup>22</sup> Kilpisjärvelle vuonna 2013 rakennettu radiovastaanotinasema KAIRA koostuu 1 500 yksittäisestä radioantennista. Aseman on perustanut Oulun yliopiston Sodankylän geofysiikan observatorio. Yksi KAIRA:n tärkeä tutkimuskohde on avaruussäätö sekä sen vaikutukset maapallon lähiavaruudessa.

Kartta Sodankylän observatorion rakennuksien sijainnista 1970-luvun alussa. Observatorio sijaitsee Kitinen joen itäpuolella. Alueen pohjoisosassa on geofysiikan observatorion rakennukset, keskellä katkoviivalla erotettuna Ilmatieteen laitoksen meteorologinen observatorio ja alueen eteläosassa geofysiikan observatorion ionosfääriasema. Rakennuksista vanhin on geofysiikan observatorion päärakennus "valkoinen talo" (numero 04) vuodelta 1950 (purettu 2007). Observatorion toimisto- ja asuinrakennus (01) valmistui vuonna 1968. Rakennukset 05 ja 06 ovat henkilökunnan asuinrakennuksia ja 07 elektroniikkalaboratorio. Henkilökunnan sauna on kohdassa 43. Havaintokopeissa 15, 16 ja 17 oli maavirtojen ja pulsaatioiden rekisteröintilaitteet (Grenetin ja Campbellin induktiokelat). Rakennuksissa 11–14 on magneettisiin mittauksiin ja rekisteröintiin tarvittavat laitteet. Numerolla 22 on merkitty sodassa tuhoutuneet vastaavat rakennukset. Seismometrit oli sijoitettu rakennukseen 21. Zeniittikaukoputki napavariaatiomittauksiin on kohdassa 18. Revontulikameroiden ohjauskopit ja havaintotorni



kohdissa 33–35. Revontulikamerat ja seismometri sijoitettiin myöhemmin 1970-luvulla observatorion sivuasemalle Pittiövaaraan, noin 12 km luoteeseen observatoriolta. Ionosfääriaseman toimisto- ja asuinrakennus ovat kohdissa 02 ja 03. Rakennukset on tehty vuonna 1962, mutta niitä laajennettiin tuntuvasti EISCAT-toiminnan alkuaikoina. Ionosfäärimittauksiin tarkoitettuja rakennuksia ovat 31–35. Uusimmat niistä valmistuivat vuonna 1964, vanhin (31) oli

tilapäinen parakkirakennus, "ionoskooppi" 1957–1962. Kolme vinoneliön muotoista rakennelmaa ovat ionosfääriluotauksissa tarvittavia rombiantenneja (Kuva: Keränen and Sucksdorff, 1973). Myöhemmin 1970-luvulla ionosfääriaseman viereen pystytettiin EISCAT-järjestön 32-metrinen vastaanottoantenni. Vuonna 2001 valmistui Sodankylän observatorioiden yhteinen päärakennus Polaria ionosfääriaseman lähelle. (KARTTA: Kataja, 1973)

## Lopuksi

Sodankylän geofysiikan observatorio on tuottanut lähes katkeamattoman aikasarjan magneettikentän muutoksista yli 100 vuoden ajalta kotimaisen ja kansainvälisen tiedeyhteisön käyttöön. Observatorion laitekanta on uudistettu ja havaintomenetelmät on korvattu aina uusimmilla käytävissä olevilla laitteistoilla ja mittausmenetelmillä. Näin Sodankylän observatorion magneettiset aineistot ovat olleet aina hyvin vertailukelpoisia alan kansainvälisten observatorionormien kanssa. Harvalla magneettisella observatoriolla maailmalla on yhtä pitkä ja yhtä homogeeninen havaintosarja kuin mitä Sodankylässä on tuotettu. Sodankylän magneettista dataa onkin käytetty paljon erilaisissa tieteellisissä hankkeissa esimerkiksi avaruussään ja -ilmaston tutkimuksissa.

Magneettisen observatorion rekisteriöiden ylläpito ja havaintomateriaalin muokkaus on vaativaa työtä ja henkilökunnalla tulee olla hyvä osaaminen mittausteknologian ja data-analyysien aloilla. Henkilökuntaa näihin tehtäviin on kautta aikojen ollut vain niukasti. Usein koko magneettinen toiminta kaikessa vaativassa laajuudessaan on ollut vain yhden asiantuntijan varassa. Jotta Sodankylän observatorio voisi tulevinakin vuosikymmeninä tuottaa korkeatasoisia havaintosarjoja eri geofysiikan aloilta olisi tärkeää turvata henkilökunnan jatkuvuus kouluttamalla alalle uutta nuorempaa sukupolvea. Sodankylän observatorio on pitkän historiansa aikana poltettu kerran tuhkaläjäksi ja yksi sen johtajista on saanut surmansa sodassa. Aina näistä vaikeista tilanteista on selvitty, ja observatorion mittaukset ja havainnot on saatu uudelleen käyntiin. Luotavaisin mielin voi siis katsoa tulevaisuuteen Sodankylän geofysiikan observatorion seuraavalle satavuotistaipaleelle.

# 2.2

## REVONTULIHAVAINNOT SODANKYLÄSSÄ

Jyrki Manninen ja Heikki Nevanlinna<sup>23</sup>

### Visuaaliset revontulihavainnot

Jo Sodankylän ensimmäisen polaarivuoden observatoriossa 1882–1884 tehtiin revontulista näköhavaintoja. Silloin säähavaintojen yhteydessä merkittiin havaintopäiväkirjaan silmämääräiset tiedot taivaalla näkyvistä revontulista. Tietoja kerättiin revontulimuotojen esiintymisajoista ja -paikoista taivaanpallolla. Mukaan tulivat arviot valojen kirkkaudesta kolmiportaisella asteikolla ja revontulimuotojen luokittelu. Samat havainnot tehtiin Sodankylän magneettisessa observatoriossa aina synoptisten meteorologisten havaintojen yhteydessä. Tiedot koottiin meteorologiseen vuosikirjaan yhdessä säähavaintojen kanssa. Vastaavanlainen havaintorutiini oli käytössä kaikissa maailman meteorologisissa observatorioissa ja vastaavilla havaintoasemilla. Suomessakin eri puolilla maata sijainneet Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemat tekivät visuaalisia revontulihavaintoja. Kohtalaisen yhtenäiset revontulihavainnot ulottuvat vuodesta 1881 vuoteen 1965, jolloin revontulimerkinnot poistettiin sääasemien synoptisesta havainto-ohjelmasta. Tietoja revontulien näkymisestä on Suomessa koottu aina 1700-luvun puolivälistä lähtien. Kun kaikki nämä havainnot yhdistetään niin saadaan yli 250 vuoden kattava tieto revontulien esiintymisestä Suomessa. Aineisto käsittää kymmeniätuhansia yksittäisiä revontulihavaintoja. Vaikka tällainen visuaalinen havaintosarja on melko epäyhtenäinen ja osittain aukkoinen, niin se tarjoaa kuitenkin tietoja revontulien esiintymisten pitkäaikaisvaiheluista osana Auringon aktiivisuuden tuottamia avaruusilmaston muutoksia (Nevanlinna, 2004).

<sup>23</sup> Tämä kirjoitus perustuu lähinnä Eyvind Sucksdorffin julkaisuun *The Geophysical Observatory Sodankylä Geophysica* 5, 17–47, 1952 ja Eero Katajan aiheesta kirjoittamiin muistiinpanoihin.

## Revontulikamerat havainnoissa

Sodankylän observatorio teki päätöksen kahden revontulikameran hankkimisesta vuoden 1919 lopulla Elias Levannon ollessa observatorion johtaja. Aloitteentekijä hankkeessa oli observatorioimikunnan puheenjohtaja professori Gustaf Melander. Opetusministeriö oli myöntänyt tarkoitukseen yhteensä 30 000 markan (14 000 euron) määrärahan kahden kameran ostoon ja sivuaseman kuluihin. Tavoitteena oli siis aloittaa revontulien parallaktinen kuvaus kahdelta eri paikkakunnalta. Kuvauslaitteet olivat niin sanottuja Störmerin kameroita, joissa kuvat otettiin 9 x 12 cm kokoisille lasilevyille.

Norjalainen Carl Störmer (1874–1957) työtovereineen oli ottanut tällaisilla kameroilla tuhansia simultaanisia revontulikuvia 1900-luvun alussa. Hän ratkaisi lopullisesti alan tutkijoita kauan askarruttaneen tieteellisen kysymyksen siitä, kuinka korkealla revontulet loistavat. Störmerin kokooma kuvamateriaali antoi siihen tarkan vastauksen: revontulikaaren alareuna on tyypillisesti noin 100 km korkeudella maanpinnasta. Revontulien esiintymiskorkeutta yritettiin mitata myös Sodankylässä ensimmäisen polaarivuoden aikana kahdesta eri paikasta, mutta tulokset olivat epäluotettavia.

Kamerat ostettiin Oslost "revontulimittareina", mutta tietävästi niitä ei koskaan otettu havaintokäyttöön. Seuraavan kerran revontulien kuvaaminen tulee ajankohtaiseksi, kun prof. Störmer vieraili observatoriossa syksyllä 1927 Eyvind Sucksdorffin ollessa observatorion johtaja. Vierailun aikana neuvoteltiin valokuvausohjelmasta yhteistyössä Tromssan revontuliobservatorion kanssa. Jo saman vuoden syksynä kuvausohjelma käynnistyi. Sivuasema saatiin Kelujärveltä noin 20 km itäkoilliseen Tähtelän observatoriosta. Siellä paikallinen kansakoulun opettaja suoritti tarvittavat kuvaukset. Revontulikuvauksen simultaanisuus hoidettiin erillisellä suoralla puhe- ja linjalinjalla sivuaseman ja observatorion välillä. Observatorion kamera oli sijoitettu pilotpalojen lähetystorniin. Syksyn ja kevään 1928 aikana otettiin 114 käyttökelpoista parallaktista kuvaa revontulista. Seuraavana vuonna apuasema siirrettiin Vuotsoon noin 90 km observatoriosta pohjoiseen. Kuvia saatiin taltioitua yli 300 kappaletta. Vuosina 1935 ja 1936 käytössä oli myös kolmas apuasema Ivalossa, jossa toimi myös tanskalaisten ylläpitämä magneettinen kenttäobservatorio. Seuraavina vuosina 1937–1939 tehtiin vain visuaalisia havaintoja Tähtelän tornista. Tämän jälkeen havainnot revontulista koottiin entiseen tapaan säähavaintojen yhteydessä.

Sodankylän observatoriossa otettiin käyttöön yksinkertainen tähtäyslaite, jolla voitiin visuaalisesti, ilman mitään muuta apuvälinettä, määrittää revontulien näennäinen korkeus havaintopaikalla. Laite muodostui neljännesympyrän muotoisesta vanerilevystä, johon oli kiinnitetty jyvä- ja hahlotähtäin ja luotilanka. Langan avulla tähtäin saatiin vaakasuoraan asentoon ja vanerilevyn reunan asteikosta luettiin revontulikaaren alareunan korkeuskulma. Kun tällaisella laitteella saatiin samanaikaisia tuloksia eri paikoilta, voitiin revontulikaaren oikea korkeus määrittää kolmiomittausperiaatteella.

Sodankylässä tehtyjen revontulihavaintojen tieteellisenä tavoitteena oli tutkia revontulien

esiintymistä yhdessä samanaikaisten magneettikenttä- ja maavirtahavaintojen kanssa. Päämääränä oli selvittää minkälainen sähkövirtajärjestelmä havaintopaikan yläpuolella oli muodostunut avaruussähköriiriön ajaksi. Tehtävä oli liian vaativa silloisilla laitteilla ja suppealla havaintoverkolla.

Kaikkiaan revontulista Störmerin kameroilla otettiin tuhansia valokuvia. Ne varastoitettiin observatorion arkistoon, mutta kuvat tuhoutuivat syksyllä 1944 saksalaisten sotajoukkojen hävitettyä observatorion kaikki rakennukset.

## Revontulikuvaukset kansainvälisen geofysiikan vuoden aikana

Kansainvälisen geofysiikan vuoden magnetosfääritutkimuksiin oli eri tutkimuslaitoksissa suunniteltu ja rakennettu automaattisia revontulikameroita. Tavoitteena oli kuvata samoja revontulimuotoja useasta eri havaintopaikasta ja siten saada kartoitus revontulien esiintymisestä laajalla alueella, jopa koko revontulivyöhykkeellä napojen ympärillä. Tarkoitukseen sopi hyvin saksalaissyntyisen Wili (Wilhelm) Stoffregenin (1909–1987) kehittämä pallopeilin ja kameran yhdistelmä (Schlegel and Lühr, 2014). Siinä pallon pinta heijastaa koko näkyvän taivaankannen kameran objektiivin. Kamera oli tavallinen kaitafilmaukseen sopiva laite, jolla otettiin kuvia tyypillisesti kerran minuutissa.

Sodankylään hankittiin Stoffregenin kamera syksyllä 1956, ja se otettiin käyttöön keuhälä 1957. Alun alkaen kameraa käytettiin osana Ilmatieteen laitoksen revontuliohjelmaa, johon kuului neljä Stoffregen-tyyppistä kameraa Pohjois-Suomessa (Nevanlinna and Pulkkinen, 2001). Lähin kamera sijaitsi Ivalossa. Kameroiden filmit kehitettiin Ilmatieteen laitoksessa, eikä niitä käsitelty Sodankylässä lainkaan. Vuonna 1963 kamera siirrettiin observatorion ionosfääriasemalle rakennettuun torniin. Aluksi kuvaukset tehtiin mustavalkofilmille, mutta vuodesta 1973 lähtien on käytetty väripositiivifilmiä.

Observatorion alueen asutuksen valot häirtäisivät revontulikuvauksia vakavasti, ja kamera siirrettiinkin Pittiövaaran sivuasemalle vähäisemmän valosaasteen piiriin vuonna 1979. Pittiövaaran asema on sen jälkeen toiminut jatkuvasti osana Ilmatieteen laitoksen revontulikameraverkkoa.

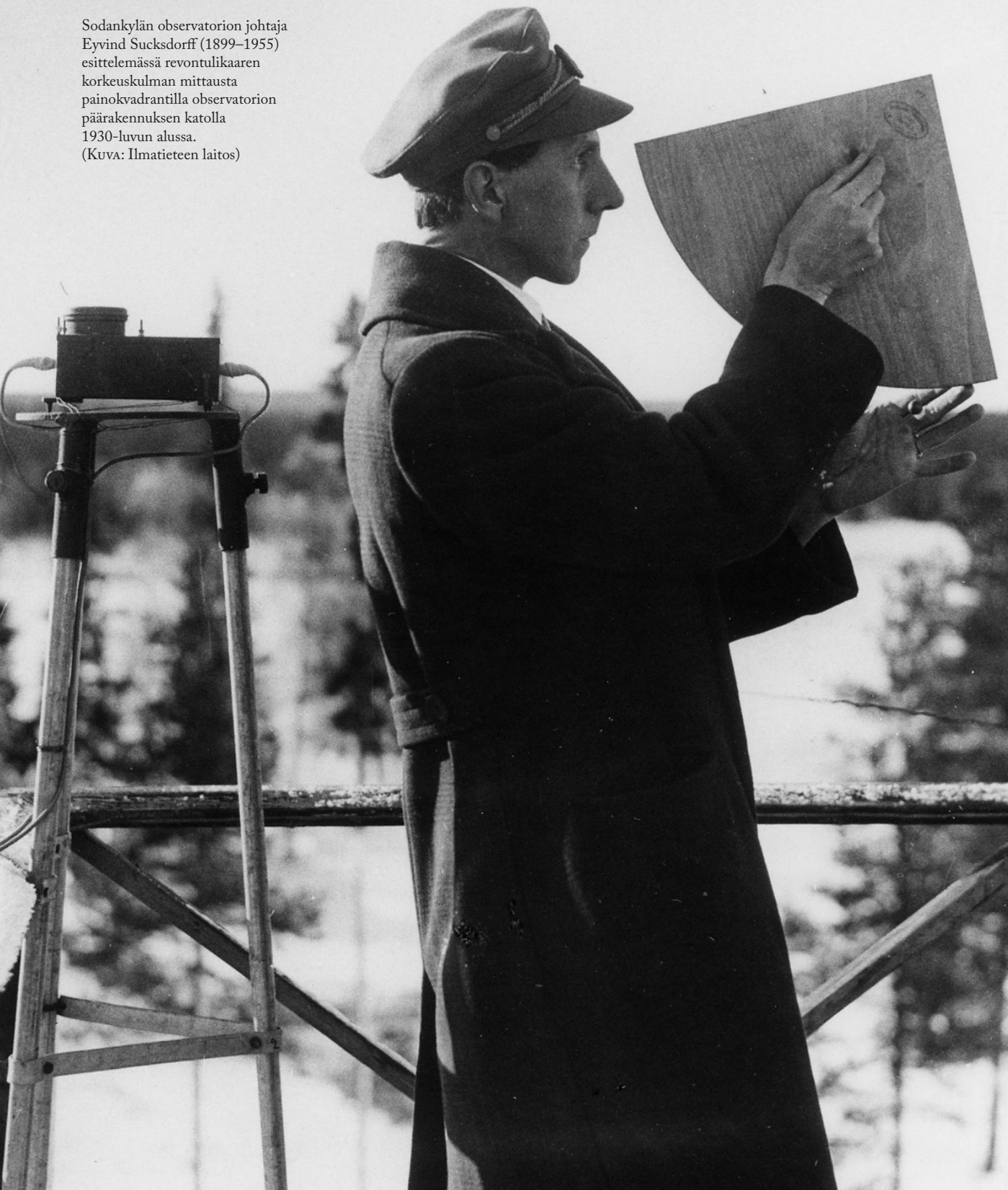
Optisten mittauksen lisäksi Sodankylässä on tutkittu radioaaltojen heijastumista revontulista. Mittaukseen käytettiin Suomen yleisradion ULA-asemien kantoaaltoja mm. taajuudella 97,0 MHz. Mittaukset alkoivat vuonna 1963 ja ne kestivät 1970-luvun loppuun saakka.

## Uudemmat mittaukset

Revontulikameroiden täydennykseksi Max Planck -instituutista saatiin vuonna 1973 fotometri, joka mittasi revontulien kirkkautta neljällä eri aallonpituusalueella. Pittiövaaran sivuasemalla on ollut käytössä myös Murmanskissa Venäjällä toimivan Polar Geophysical Institutin (PGI)



Sodankylän observatorion johtaja Eyvind Sucksdorff (1899–1955) esittelemässä revontulikaaren korkeuskulman mittausta painokvadrantilla observatorion päärakennuksen katolla 1930-luvun alussa. (Kuva: Ilmatieteen laitos)



valmistama revontulifotometri, jonka mittama aineisto on koottu Sodankylään. Vuosina 2002–2010 Oulun yliopiston fysiikan laitoksen zeniiittifotometri ja skannaava 5-kanavainen fotometri olivat toiminnassa Pittiövaarassa.

Observatorion revontulikamerat siirtyivät vuonna 2000 digitaaliseen aikaan, jolloin yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen kanssa hankittiin iCCD-kennoilla toimivat all-sky-kamerat. Kamerat käyttävät kolmea suodinta mitaten revontulien päävärejä: vihreää, punaista ja sinistä. Kyseinen kamera on edelleen käytössä Sodankylässä Pittiövaaran asemalla.

Vuonna 2007 toteutettiin kahden EMCCD-kennolla toimivien kameroiden hankinta. Alkuun observatorion EMCCD-kamera toimi Pittiövaarassa, mutta SGO on operoinut kameraa vuodesta 2012 alkaen myös Abiskon tutkimusasemalla Pohjois-Ruotsissa.

LAPBIAT-ohjelman myötä vuonna 2002 SGO aloitti uuden yhteistyön University College Londonin kanssa. Pittiövaaraan rakennettiin laitetilat interferometrille, jolla mitataan yläilmakehän tuulia ja lämpötiloja. Yhdessä Kiirunan ja Skibotnin interferometriensä kanssa pystyttiin tekemään samanaikaisia havaintoja, jolloin myös tuulen suunta pystyttiin mittaamaan. Sodankylän ja Kiirunan interferometrit ovat edelleen toiminnassa. Interferometrin rinnalla on koko taivasta kuvaava värikamera.

SGO:n iCCD-kameralla on pitkän ja luotettavan havaintokauden vuoksi ollut keskeinen asema Lapin revontulitilanteen reaaliaikaisessa seurannassa jo vuodesta 2001. Reaaliaikaiset revontulikameroiden ottamat kuvat ovat yksi tunnetuin ja seuratuin observatorion havaintotuote.



Revontulikuvauksiin tarkoitettu CCD-kamera observatorion sivuasemalla Pittiövaarassa. (Kuva: Thomas Ulich)

Annikki Sucksdorff (1905–1986) Störmer-kameran (vasemmalla) äärellä Sodankylän observatoriossa 1930-luvun alussa. (Kuva: Ilmatieteen laitos).



# 2.5

## TÄHTELÄN IONOSFÄÄRIASEMA

Juhani Oksman

### Ionosfääri ja sen mittaukset

Kun Tähtelässä valmistauduttiin kansainvälisen geofysiikan vuoden 1957–1958 aikana tehtäviin mittauksiin, erääksi uudeksi mittauksen kohteeksi valittiin ionosfääri.

Ionosfääri on osaksi ionisoitunut osa maan ilmakehästä. Se löydettiin 1900-luvun alussa, kun Guglielmo Marconi (1874–1937) sai 1901 radioaalloilla yhteyden Atlantin yli. Arthur Kennelly ja Oliver Heaviside ehdottivat seuraavana vuonna toisistaan riippumatta tämän johtuneen maata ympäröivästä sähköä johtavasta kerroksesta, joka heijasti radioaallot horisontin taakse. Tätä kerrosta kutsuttiin pitkään heidän mukaansa Kennelly-Heavisiden kerrokseksi. Edward Appleton vahvisti sen olemassaolon vuonna 1924 ja nimitti sen ionosfäärin E-kerrokseksi. Hän löysi myöhemmin myös ylempänä olevan F-kerroksen.<sup>24</sup>

Ionosfääri on syntynyt siten, että pieni osa ilmakehän atomeista ja molekyyleistä on noin 80 kilometrin yläpuolella ionisoitunut pääasiassa Auringon ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta. Ionisoitumisaste eli elektronitiheys riippuu Auringon säteilyn voimakkuudesta ja se puolestaan Auringon korkeuskulmasta, joka vaihtelee vuorokauden- ja vuodenajan mukana ja on tietysti riippuvainen myös paikan leveysasteesta. Tämän lisäksi säteilyn voimakkuuden on havaittu korreloivan Auringon aktiivisuuden kanssa.

<sup>24</sup> Arthur Kennelly (1861–1939) ja Oliver Heaviside (1850–1925) olivat 1900-luvun alun ionosfääritutkimuksen pioneereja. Sir Edward Appleton (1892–1965) sai tutkimuksistaan fysiikan Nobel-palkinnon vuonna 1947. Hänet aateloitiin vuonna 1941.

Ennen satelliittiäikää ionosfääri oli tärkeä pitkien matkojen radioliikenteessä. Sopivan taajuiset lyhyet radioaallot näet heijastuvat ionosfääristä ja tekevät matkallaan lähettimestä vastaanottimeen yhden tai useampia hyppyjä maanpinnan ja ionosfäärin välillä. Koska elektronitiheys vaihtelee ajan ja paikan mukana, aallon taajuus pitää valita kullekin yhteysvälille ja -ajalle sopivasti, ja jotta tämä osattaisiin tehdä, tarvitaan ennusteita ionosfäärin tilasta. Niiden laatimiseksi eri maiden telelaitokset rakensivat laajan mittausasemaverkon ionosfäärin tilan seuraamista varten. Sillä saadun tilaston avulla voitiin tarpeellisella tarkkuudella ennustaa kullakin yhteysvälillä kulloinkin käyttökelpoiset taajuudet.

Asemille asennettiin mittausta varten niin sanottu ionosondit (Breit and Tuve, 1926). Ne ovat tutkan tapaisia laitteita, jotka lähettävät radioaaltoimpulsseja ylöspäin kohti ionosfääriä. Magnetoionisen teorian (Ratcliffe, 1962) mukaan radioaallon eteneminen ionosfäärissä noudattaa paikallisen taitekertoimen vaihtelua, ja tämä puolestaan riippuu aallon taajuudesta ja paikallisesta elektronitiheydestä. Kun aalto saapuu ionosfääriin, se hidastuu ja kääntyy lopuksi takaisin (”heijastuu”) korkeudelta, jossa taitekerroin saa arvons nolla. Taajuuden kasvaessa aalto tunkeutuu yhä korkeammalle ionosfääriin, kunnes se menee sen läpi ja häviää avaruuteen. On saavutettu ionosfäärin niin sanottu kriittinen taajuus. Aallon matkallaan kuluttama aika mitataan ja rekisteröidään filmille, samalla kun taajuutta muutetaan. Mittausta sanotaan luotaukseksi ja rekisteröintitulosta ionogrammiksi.

Ionosondilla voidaan lähettää radioaaltoimpulsseja myös viistosti ylöspäin kohti ionosfääriä, jolloin ionosondin lähetin ja vastaanotin ovat erillään toisistaan yhteysvälin eri päissä. Tällöin puhutaan viistoluotauksesta. Viistoon saapuva aalto läpäisee ionosfäärin vasta, kun sen taajuus ylittää kriittisen taajuuden kerrottuna tulokulman sekantilla.

Posti- ja lennätinlaitos (PLL) tarvitsi radioyhteysennusteitaan varten kansainvälisen ionosondiverkoston tuottamia tietoja. Niiden saamisen ehtona oli, että sillä olisi antaa vastavuoroisesti omia mittaustuloksiaan. PLL:n radio-osasto teetti siksi VTT:n radiolaboratoriossa amerikkalaisen mallin mukaisen ionosondin. Se valmistui vuonna 1956 ja sijoitettiin Ilmatieteellisen keskuslaitoksen geofysikaalisen observatorion alueelle Nurmijärvelle (Sucksdorff and Haikonen, 1958). Siellä päivittäiset luotaukset jatkuivat aina 1980-luvun alkuun asti.

### Tähtelä saa ionosondin

Kansainvälisen radiotieteen unionin (URSI:n) Suomen kansalliskomitea oli tietysti tyytyväinen siihen, että Suomeen oli saatu ionosfääriä radioaalloilla mittaava asema. Nurmijärvi sijaitsee kuitenkin Suomen eteläkolkassa, ja komitea halusi pystyttää vastaavan aseman myös Pohjois-Suomeen. Useat lyhytaaltoyhteydet kulkivat näet korkeiden leveysasteiden kautta, joilla revontuliin liittyvät ilmiöt häiritsevät aaltojen etenemistä. Luotettavien ennusteiden laatimiseen näitä

yhteyksiä varten tarvittiin siis Pohjois-Suomesta saatavia mittaustuloksia. Koska häiriöt liittyvät ionosfäärissä kulkeviin sähkövirtoihin ja nämä vuorostaan aiheuttavat muutoksia maan magneetikentässä, ionosfäärin mittauksilla olisi tämän lisäksi merkitystä myös geofysikaaliselle perustutkimukselle. Hoidon kannalta Sodankylän Tähtelä olisi Suomen toiselle ionosondille ihanteellinen sijoituspaikka. Observatorion isäntä, Suomalaisen Tiedekatemian observatoriotoimikunta, näytti suunnitelmalle vihreää valoa.

URSI:n kansalliskomitealla oli käytössään vain niin vähän varoja, että se ei voinut ajatellaakaan ionosondin ostamista. Laite olisi siis saatava lainaksi. Kansalliskomitea yritti aluksi lainata ionosondin Yhdysvalloista, mutta siellä ei oltu asiasta kiinnostuneita. Skandinaviassa oli näet amerikkalaisten mielestä jo tarpeeksi samanlaisia laitteita; olihan niitä Tromssassa, Kiirunassa, Uppsalassa, Lyckseessä ja Nurmijärvellä.

Tässä vaiheessa kansalliskomiteassa muistettiin vuonna 1954 yhteistyössä saksalaisten kanssa tehdyt ionosfäärimittaukset. Sinä vuonna sattui nimittäin täydellinen auringonpimennys, jossa kuun varjo kulki Itämeren poikki. Lindaussa sijaitseva Max-Planck-Institut (MPI) für Ionosphärenforschung<sup>25</sup> oli halunnut mitata pimennyksen vaikutusta aaltojen heijastumiseen ionosfäärissä. Auringon ultraviolettisäteilyhän heikkenee voimakkaasti pimennyksen aikana niissä kohdissa ionosfääriä, joissa Kuu varjostaa säteilyä. Instituutissa oli laskettu, että pimennysvyöhyke kulkisi tarkalleen Lindaun ja Helsingin puolella välissä. Jos siis lähetettäisiin pimennyksen aikana radioaaltoja Lindausta Helsinkiin, ne heijastuisivat pimennetyssä ja siis heikentyneessä ionosfäärissä.

Aaltojen vastaanotto paikaksi oli vähäisten radiohäiriöiden takia valittu Posti- ja lennätinhallituksen lyhytaaltoasema Keimolassa. Instituutti oli sijoittanut tämän lisäksi vertailua varten ionosfäärin pystyvuotaimen Kalmariin Etelä-Ruotsiin, lähelle aaltojen heijastumiskohtaa. Auringonpimennys oli kestänyt pari tuntia; täydellinen se oli ollut vain runsaan seitsemän minuutin ajan. Vertailun vuoksi ionosfääriä oli kuitenkin mitattu muutamana päivänä ennen ja jälkeen pimennyksen. Mittaus oli onnistunut hyvin, joten saksalaiset olivat tyytyväisiä.

Tämä yhteistyö muistui nyt URSI:n kansalliskomitean jäsenten mieleen. Lindaussa sattui siihen aikaan olemaan Nurmijärven ionogrammien tulkintaa opiskelemaan PLL:n radio-osaston diplomi-insinööri Terho Haikonen, ja hän sai tehtäväkseen käydä MPI:n johdon kanssa neuvotteluja ionosondin saamiseksi lainaksi Sodankylään. Hän saikin elokuussa 1956 aikaan sopimuksen, jonka mukaan instituutti toimittaisi Sodankylään ionosfäärinmittauksiin tarvittavan laitteiston, jos suomalaiset vastaisivat aseman rakentamis- ja ylläpitokustannuksista.

Saksalaisten mielenkiinto yhteistyöhön perustui tälläkin kertaa onnelliseen sattumaan: saksalaisia kiinnosti edelleen ionosfäärin pysty- ja viistomittausten vertailu, ja sattuu niin muka-

vasti, että Lindaun ja Sodankylän puolella välissä sijaitsee Uppsala, jossa oli ionosfäärin pystymittaustasema. Saksalaiset suunnittelivat, että Sodankylään ionosondilla tehtäisiin pystymittausten lomaan viistomittauksia Lindaun suuntaan. Ohjelmaan kuuluisivat myös niin sanotut paluusiirontamittaukset. Pieni osa Lindauhun päin lähetettyjen radioaaltojen tehosta siroaisi näet maanpinnasta takaisin Sodankylään päin, ja näitä heikkoja kaikuja otettaisiin vastaan Sodankylässä.

Saksalaiset lupasivat, että heidän insinööriinsä ja teknikkonsa olisivat Sodankylässä aseman pystytyksen ajan, mutta Suomesta olisi lähetettävä syyskuun alussa Saksaan insinööri osallistumaan laitteen rakentamiseen ja opiskelemaan mittaustulosten tulkintaa. Tämä insinööri vastaisi saksalaisten lähdettyä ionosfääriaseman hoidosta. Sopivaa henkilöä alettiin nyt etsiä.

Suomalaisella puolella on esitetty ajatus, että ionosfäärilaitteiden toimittaminen Sodankylään olisi ollut korvaus Tähtelän tuhosta (Halila, 1987; Paaskoski, 2008). Tämän suuntaistakaan lausumaa en saksalaisten kollegoitteni suusta milloinkaan kuullut. Koko Lapin sotakaan ei ollut koskaan keskustelujemme aiheena.

## Stipendiaattina Saksassa

Tässä vaiheessa minä astuin kuvaan. Olin valmistumassa radioinsinööriksi Teknillisestä korkeakoulusta, joten sopisin alani puolesta tehtävään. Tosin en ollut vielä valmis insinööri, mutta selaista ei ollut siihen hätään löydettävissä. URSI:n kansalliskomitean sihteeri, tekniikan tohtori Pentti Mattila esittikin minulle, että lähtisin kansalliskomitean stipendiaattina Saksaan. Vaikka hän ei antanut mitään varmuutta vakinaisesta työpaikasta, päätin vähän mietittyäni suostua hänen ehdotukseensa. Ajattelin, että voisin laatia diplomityöni ionosfääriin liittyvästä aiheesta. Ja niin oli edessä matka Lindauhun.

Max Planck -instituutti on peräisin siitä Walter Diemingerin<sup>26</sup> johtamasta organisaatiosta (Zentralstelle für Funkberatung), joka oli sodan aikana vastannut ennusteiden laatimisesta Saksan asevoimien radioliikennettä varten. Sen pujahtamista sodan päätyttyä laitteineen tunnetun englantilaisen ionosfäärifysiikan Roy Piggottin<sup>27</sup> avustuksella venäläisten joukkojen jaloista brittiläiselle miehitysvyöhykkeelle Lindauhun kerrottiin todellisena jännitystarinana.

Lindaussa minut otettiin mukaan diplomi-insinööri Hans-Georg Möllerin johtamaan ryhmään, johon kuuluivat ennestään diplomifysiikko Gerhard Rose ja tekniikko Benno Jung. Ionosondin rakennustyö oli Lindauhun saapuessani jo pitkällä, ja sain tehtäväkseni sen eräiden osakokonaisuuksien trimmaamisen toimintakuntoon.

<sup>25</sup> Vuodesta 1957 lähtien Max-Planck-Institut für Aeronomie (MPAe), vuodesta 2004 Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung (MPS), toimipaikkana vuodesta 2014 alkaen on ollut Göttingen.

<sup>26</sup> Walter Dieminger (1907–2000), ks. [https://en.wikipedia.org/wiki/Walter\\_Dieminger](https://en.wikipedia.org/wiki/Walter_Dieminger). Diemingerin johtaman MPAe:n ja SGO:n yhteistyöstä ionosfääritutkimuksen alalla ks. Dieminger (1973).

<sup>27</sup> William Roy Piggott (1914–2008) ks. [https://en.wikipedia.org/wiki/William\\_Roy\\_Piggott](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Roy_Piggott)

Ionosondin rakennustyön lomassa opiskelin tulevaan työhöni kuuluvaa ionogrammien tulkintaa. Lindaussahan tehtiin rutiininomaisesti ionosfäärinluotauksia, joten siellä oli runsaasti ionogrammeja käytettävissä. Siellä oli myös paljon asiantuntemusta, tosin vain keskileveysasteiden rauhallisesta ionosfääristä. Oli odotettavissa, että joutuisin Sodankylässä tulkitsemaan paljon mutkikkaampia ionogrammeja.

Päsin liittymään siihen instituutin jatko-opiskelijain joukkoon, jonka instituutin johtaja professori Walter Dieminger itse ajoi instituutin pienoiss bussilla joka viikko yhdeksi iltapäiväksi Göttingeniin. Kuuntelin Göttingenin yliopistossa Diemingerin itsensä pitämiä radioastronomian luentoja ja lisäksi maineikkaan geofysiikan professorin Julius Bartelsin<sup>28</sup> luentoja geofysiikan tilastollisista menetelmistä.

Koska ionosfäärin voimakkuus riippuu Auringon säteilystä, tarvittiin taulukoita siitä, miten korkealta aurinko paistaa Sodankylässä eri vuoden- ja vuorokaudenaikoina. Sain tehtäväkseni laskea nämä taulukot. Suoritin nämä pallotrigonometriset laskut logaritmitaulujen avulla ja selvisin tehtävästä parissa päivässä. Onneksi siihen aikaan ei ollut vielä tietokoneita. Ohjelman kirjoittaminen ja sen virheiden korjaaminen olisi näet varmasti vienyt enemmän aikaa.

Päsin käymään Suomessa joululomalla. Tällä välin URSI:n kansalliskomitea oli selvitelty, mistä saataisiin varoja Sodankylän rakennusta ja antennikenttää varten, jotka Suomen oli kustannettava. Suomeen oli perustettu kansallinen komitea geofysiikan vuotta varten, mutta siltä ei varoja liennyt. Osallistuin joululomallani asiasta Helsingissä pidettyyn neuvotteluun, ja siinä PLL:n yli-insinööri Erkki Heino esitti, että ionosfääriasemaa varten haettaisiin työllisyysvaroja. Jotta niiden saaminen varmistettaisiin, anomukseen päätettiin lisätä miljoona (vanhaa) markkaa [noin 27 000 euroa] noin kilometrin pituisen tien rakentamiseen. Oli nimittäin tiedossa, että työllisyysvaroja myönnettiin mielellään tienrakennustöihin.

Palasin Suomeen maaliskuun lopulla 1957. Minun oli näet suoritettava viimeiset tenttini, ja Sodankylässä odotti parakin ja antennien rakennuttaminen ionosfääriasemaa varten. Ionosondi ei ehtinyt tulla ennen lähtöäni ihan valmiiksi, joten Möller, Rose ja Jung jäivät sitä viimeistelemään.

## Ionosfäärimittaukset alkavat

Raha-anomus ionosfääriasemaa varten hyväksyttiin keväällä 1957. Työllisyysvaroja myönnettiin noin neljä miljoonaa markkaa (noin 110 000 euroa). Niiden käytölle annettu määräaika päättyi alun perin kesäkuun 15. päivänä, mutta onnistuimme saamaan pidennystä kuun loppuun asti. Rahan säästämiseksi päätettiin asemarakennukseksi siirtää ja kunnostaa ruotsalainen lahja-

<sup>28</sup> Julius Bartels (1899–1964), ks. [https://en.wikipedia.org/wiki/Julius\\_Bartels](https://en.wikipedia.org/wiki/Julius_Bartels)

parakki, joka oli pystytetty vuonna 1945, kun saksalaiset joukot olivat polttaneet perääntyessään Tähtelän kaikki rakennukset. Parakki oli päässyt huonoon kuntoon, koska se oli ollut kauan tyhjillään ja toiminut lasten leikkimökinäkin. Rakennukseen myönnettiin 900 000 markkaa (24 000 euroa); loppusumma käytettäisiin tien ja antennikentän rakentamiseen.

Ionosfääriaseman sijaintipaikka täytyi ratkaista. Olisi ollut eduksi, jos asema olisi sijainnut muun observatorion yhteydessä, mutta siellä ei ollut tarpeeksi tilaa antennikentälle. Asema oli siis sijoitettava Ilmatieteellisen keskuslaitoksen observatorion taakse observatorioalueen eteläpäähen. Koska Tähtelä sijaitsee hiekkakankaalla, tie asemalle oli helppo tehdä: poistettiin vain tieuran kohdalla kasvavat puut juurineen ja levitettiin uralle soraa. Kustannukset olivat minimaaliset.

Olimme laatineet Möllerin kanssa antennien sijoituspiirroksen. Antennien tieltä piti kaataa puut usean hehtaarin alueelta. Työn teetti alueen metsänhoidosta vastannut Metsähallituksen Sodankylän hoitoalue. Alle puolitoistametriset taimet jätettiin paikoilleen, kun luultiin aseman jäävän vain tilapäiseksi. Kun asema sitten vakinaistettiin ja sen toiminta jatkui, taimet kasvoivat vähitellen puiksi, jotka täytyi kaataa.

Observatorion johtaja Eero Kataja pani käyntiin parakin siirtämisen. Olimme Lindaussa suunnitelleet Möllerin kanssa rakennukselle uuden huonejärjestyksen. Parakin koko oli 6,6 m x 14,8 m, ja siihen tuli iso kojehuone ja sen lisäksi kamari ja keittiö minulle ja vaimolleni, vierashuoneet kahdelle saksalaiselle sekä pesukoppi ja pimiö. Koska asemarakennus olisi vain väliaikainen, se pystytettiin maan pinnalle tukkien päälle. Arvelimme, että kestäisi muutamia vuosia, ennen kuin tukit lahoaisivat pilalle. Asemalle pystytettiin myös puinen ulkorakennus. Kaikki rakennustyöt teki laatimani summittaisen työselityksen mukaisesti urakalla kirvesmies Niilo Hilunen. Sähköasennukset teki Rovakairan Sähkö Oy.

Tähtelän vaatimaton sähkönkulutus oli siihen asti hoidettu Kitisen yli tulleella pienjännitejohdolla. Kun sähkötehon tarve nyt suuresti kasvoi, Rovakairan Sähkön piti siirtää muuntaja joen Tähtelän puoleiselle rannalle. Muuntajan kooksi valittiin alussa 20 kVA, mutta varauduttiin koon suurentamiseen 30 kVA:iin.

Muutimme heinäkuun alkupäivinä vaimoni kanssa Tähtelään ja asetuimme asumaan parakkiin. Antennimastot oli pystytetty samoihin aikoihin parakin rakentamisen kanssa. Mastopuut toimitti Metsähallituksen Sodankylän hoitoalue; niitä varten löytyi pitkäkasvuisia kuusia läheisen Luostotunturin juurelta. Mastot kokosi ja pystytti Rovakairan Sähkö. Lyhimmät viestoluotauksiin käytettävien vaakasuorien rombiantennien mastot saatiin yhdestä rungosta, muihin tarvittiin yleensä yksi jatkos. 34-metrinen pystyantennin keskimasto jouduttiin rakentamaan kahdella jatkoksella kolmesta osasta.

Pystyantenneihin hankimme tarvikkeet eli langat, harustarvikkeet ja eristimet Suomesta. Vaaka-antennien tarvikkeet tulivat lankoja lukuun ottamatta yhdessä laitteiden kanssa Saksasta. Rakensin pystyantennit Saksasta saamieni mittojen mukaan valmiiksi, jotta ne voitiin nostaa ylös, kun saksalaiset saapuivat mukanaan mastoihin ripustettavat päätevastuslaatikot.

Niin kuin valtion kanssa asioidessa usein tapahtuu, myönnettyjen varojen käyttöön saaminen viivästyivät moneen otteeseen. Varat ohjattiin Suomalaisen Tiedeakatemian kautta, ja Katajan tehtävänä oli maksaa laskut Sodankylässä tehdyistä töistä. Hän joutui kerran ottamaan vekselinkin, kun rahat Helsingistä viipyivät.

Kansainvälinen geofysiikan vuosi alkoi virallisesti 1. heinäkuuta 1957. Saksalaiset eivät kuitenkaan ehtineet saada laitteita valmiiksi siihen mennessä, joten mittauksen alkua oli myöhästettävä kuukaudella. Möller ja Jung lastasivat laitteet Hampurissa rahtilaivaan ja lensivät Suomeen heinäkuun 22. päivänä. He kävivät Helsingissä ollessaan tapaamassa muun muassa Pentti Mattilaa. Laitteet kuljetettiin Rovaniemelle junassa ja siitä eteenpäin kuorma-autolla.

Saksalaiset asettuivat asumaan parakkiin meidän seuraksemme omiin päätyhuoneisiinsa. Vaimoni keitti ruoan meille kaikille ja pesi koko joukon pyykit – korvaukset. Harva nainen saa naimisiin mennessään kolmen miehen talouden hoitaakseen! Kaupassa kävimme Möllerin mukanaan tuomalla moottoripyörällä, eihän kenelläkään meistä ollut autoa.

Tartuimme hanakasti työhön. Kiinnitimme pystyantenneihin päätevastukset ja vedimme antennit ylös. Asensimme laitteet paikoilleen parakkiin ja vedimme tarpeelliset kaapelit ja syöttöjohdot. Elokuun 1. päivänä 1957 pääsimme tekemään ensimmäiset pystyluotaukset 8 kW teholla. Tähtelässä oli nyt toiminnassa ”Horoskoopin” lisäksi ”Ionoskooppi”.

Teimme kaksi pystyionogrammia tunnissa. Mittauksen taajuusalue 1,4–22,6 MHz pyyhkäistiin välillä antennia vaihtaen kahdeksassa minuutissa. Rekisteröimme ionogrammit 35 mm filmille, joka kehitettiin kerran vuorokaudessa parakin pimiössä. Vaikka rekisteröinneissä oli alkuun pieniä kauneusvirheitä, ne olivat heti täysin tulkintakelpoisia.

Lokakuussa aloitimme pystyluotausten väleissä viistoluotaukset Lindaahun päin. Myöhemmin rekisteröimme Sodankylässä myös takaisinpäin sironneita aaltoja.

Meillä oli tarve vaihtaa Lindaun kanssa nopeasti ionosfääriasemaa ja sillä suoritettavia mittauksia koskevia tietoja, ja onnistuimme saamaan Suomen ja Saksan posti- ja telehallinnoilta luvan käyttää tiedonvälitykseen radioamatööriyhteyttä. Lindausta löytyivät meille tarvittavat laitteet. Antennina käytimme aluksi yhtä Lindaahun suunnatuista vaaka-antenneista, mutta myöhemmin pystytimme pyöritettävän antenniryhmän, jossa oli kolmielementtiset jagiantennit 10, 15 ja 20 metrin amatöörialueille. Sodankylässä käytimme minun amatöörikutsuani OH9OX, kun taas Lindaussa oli käytössä professori Diemingerin kutsu DL6DS – riippumatta siitä, kuka kulloinkin siellä asemaa käytti.

Asemamme tuli pian niin tunnetuksi, että minua oli Lindaun-yhteyden päättyessä kilvan kutsumassa iso joukko radioamatöörejä eri maista. Otimme tavaksi vastata joillekin heistä ja olimme muutaman kerran yhteydessä jopa Uuteen Seelantiin asti.

Viistoluotausten onnistumiselle oli tärkeätä, että kidekellot yhteysvälin molemmissa päissä olivat samassa ajassa ja kävivät samaan tahtiin, ja tätä varten täytyi lähettää aikamerkki jompaankumpaan suuntaan. Valitsimme lähetyspääksi Sodankylän, ja Lindausta löytyi sopiva lähetin.

Saimme anomuksesta käyttöömme aikamerkkilähetyksen tarvitsemat taajuudet.

Olimme lokakuun alkuun mennessä saaneet asemamme jo varsin hyvään toimintakuntoon, ja olimme siitä ylpeitä. Silloin räjähti uutispommi, joka saattoi saavutuksemme varjoon: Neuvostoliitto laukaisi lokakuun 4. päivänä 1957 maata kiertävälle radalle tekokuunsa Sputnik I:n. Tajusimme heti, että ionosfäärintutkimuksessa oli koittanut uusi aika. Ei tarvitsisi enää tyytyä ionosfäärin kaukomittauksiin, vaan voitiin lähettää mittareita paikan päälle. Lindaun institutiokkin monet nuoret tutkijat alkoivat valmistautua satelliittien käyttämiseen mittauksissaan, ja pääsimme aikanaan Tähtelässäkin siitä osallisiksi. Toistaiseksi jatkoimme kuitenkin hyvin alkunutta työtämme suunnitelmien mukaisesti.

Laitteiden häviöteho ei kovimmilla pakkasilla riittänyt lämmittämään parakkia. Lisälämmitystä varten rakennuksessa oli kolme uunია, ja myös puuhella toi omalta osaltaan lämpöä. Observatorio toimitti meille polttopuut metrisinä halkoina. Niiden pieneminen klapeiksi oli pääasiassa minun työtäni.

Aseman laitteiden asentamisessa ja kunnossapidossa oli niin paljon työtä, että minun piti luopua aikomastani ionogrammien tulkimisesta. Sain pyynnöstäni Eero Katajan luovuttamaan observatoriossa jo ennestään työssä olleen merkonomi Mirja Martinin (sittemmin Hämäläisen) avukseni syyskuun alusta lukien. Siirsin hänelle Lindausta saamani tulkintaopit. Jouduimme kuitenkin pian toteamaan, että Sodankylän ja Lindaun ionogrammit erosivat niin suuresti toisistaan, että minun oli sittenkin alkuvaiheessa osallistuttava varsin aktiivisesti tulkintatyöhön. Pähkäilin usein pitkät tovit, miten mikin omituinen ionogrammi olisi tulkittava. Mirja työskenteli ionosfääriasemalla aluksi vain puolet työajastaan, mutta siirtyi myöhemmin meidän palvelukseemme kokopäiväisesti.

Ongelmaksi muodostuivat lukuisat virtakatkokset, joita tuntui sattuvan varsinkin öisin. Olimme niin tottuneet ionosondin meluun, että heräsimme hiljaisuuteen, kun virta katkesi. Sähkön palattua tarvittiin monenlaista säätöä, ennen kuin laitteet olivat taas toimintakunnossa. Erityisesti pysähtyneen kidekellon uudelleen käyntiin saaminen oli tarkkaa puuhaa. Jos virtakatkos oli pitkä, parakki ehti pakkasilmalla jäähtyä, ja silloin piti panna uunit lämpiämään - vaikka keskellä yötä.

Eräs asemalla tehtäväksi suunniteltu mittauslaji olivat Gerhard Rosen väitöskirjatyöhön sisältyvät vaimennusmittaukset Sodankylästä Lindaahun. Niitä varten Sodankylään saatiin tehokas lähetin ja saksalaisen mittalaittevalmistajan Rohde & Schwarzin valmistama niin sanottu rysäntenni. Se oli nimensä mukaan pystyssä olevan rysän muotoinen, toistakymmentä metriä pitkistä keskimaasta sekä sen juuresta huippuun kulkevista langoista ja kahdesta niitä yhdistävästä metallikaaresta muodostuva rakennelma. Sen pystyttämiseksi oli omat kommelluksensa.

Möller oli palaamassa Saksaan marraskuun alussa. Kun oli tiedossa, että Jung lähtisi Sodankylästä helmikuussa, minä olin jäämässä asemalle yksin. Kun minun olisi pitänyt asemanhoidon lisäksi ehtiä laatia diplomityönikin, tilanne näytti kestävämmältä. Niinpä aloimme puuhata avukseni teknikkaa.



Kun emme onnistuneet löytämään varoja teknikon palkkaan Suomesta, käännyimme saksalaisten puoleen. Sainkin professori Diemingerin lupaamaan, että hän yrittäisi hankkia teknikon palkkaamiseen tarvittavat rahat Saksasta. Ongelmana oli myös teknikon löytäminen. Onneksi sopiva henkilö oli tiedossa. Sain ystäväni, etevän radioharrastajan Tarmo Mustosen lupautumaan teknikon tehtävään, vaikka en voinut luvata hänelle pysyvää työpaikkaa. Hän muutti Tähtelään perheineen jo ennen joulua 1957 ja alkoi perehtyä ionosfääriaseman laitteisiin – nimensä mukaisesti tarmolla. Asunto hänelle järjestettiin yhdistämällä observatorion päärakennuksen yläkerran vierashuoneet.

Teknikko Jung joutui poistumaan Sodankylästä jo helmikuun alussa 1958, koska häntä tarvittiin kipeästi hoitamaan MPI:n Tsumebiiin, Saksan entiseen Lounais-Afrikan siirtomaahan (nykyiseen Namibiaan), perustamaa ionosfääriasemaa. Onneksi Tarmo oli oppinut aseman hoidossa tarvittavat rutiinit nopeasti, niin että tulimme hyvin toimeen ilman saksalaisiakin.

Näin ionosfääriaseman toiminta oli saavuttanut jotenkin vakiintuneen tilan. Laitteiden varaosat ja rekisteröintifilmi tulivat Saksasta joko laivarahtina tai postissa. Postilähetyksen tullista, samoin kuin muistakin juoksevista menoista, huolehti valtionavun turvin URSI:n kansalliskomitea. Laivarahtien tullimaksut menivät tullin rästitilille, jolta ne saataisiin takaisin, kun laitteet palautettaisiin Saksaan. Sähkön, puhelimen ja lämmityksen kustannukset maksoi geofysiikan observatorio, samoin Mirjan palkan. Minä sain palkkioni URSI:lta, ja Tarmon palkka tuli Saksasta. Ionogrammit kehitettiin kerran päivässä aseman pimiössä. Niistä Mirja luki erityisen tulkinta-projektorin ääressä eri kerrosten kriittiset taajuudet ja korkeudet. Joka päivästä täytettiin taulukko, johon merkittiin puolen tunnin välein mitatut lukuarvot. Jos jollekin suurelle ei voitu antaa numeroarvoa, se korvattiin kirjaimella, joka kertoi numeroarvon puuttumisen syyn. Tulkinta-aulukot lähetettiin PLH:n radiotoimistoon Helsinkiin, jossa neiti Regina Sandman laati niistä eri tahoille toimitettavat kuukausitaulukot. Takaisinsirontafilmit lähetettiin tulkintaa varten Saksaan.

Nyt minulla oli aikaa aloittaa diplomityöni laatiminen. Koska Terho Haikonen oli tehnyt työnsä ionosfäärin pystyvuotauksista, valitsin omaksi aiheekseni ”Ionosfäärin viistoluotaukset ja niihin tarvittavien laitteiden konstruointi”. Käsitelinkin työssäni aluksi lyhyesti ionosfäärin syntyä, rakennetta ja ominaisuuksia, sen vaikutusta radioaaltojen etenemiseen ja sen luotausmenetelmiä. Pääosa työstä käsitteli viistoluotainta. Vaikka olinkin itse suunnitellut ja rakentanut vain pienen osan laitteistosta, selostin koko laitteiston toiminnan ja laskin sen mitoituksen läpi. Työstäni tuli tällä tavoin eräänlainen ionosfääriaseman huoltokäsikirja. Työn loppuun liitin erilaisia luotaimella tehtyjä ionogrammeja. Sain todistuksen diplomi-insinöörin tutkinnon suorittamisesta huhtikuussa 1958.

Möller oli tullut takaisin Sodankylään pian Jungin lähdettyä ja myös Jung palasi kesäkuussa laittaakseen yhdessä Möllerin kanssa ionosfääriaseman huippukuntoon. Professori Dieminger oli nimittäin tulossa käymään asemalla heinäkuussa.

Dieminger oli aseman kuntoon ja toimintaan tyytyväinen. Hän esitti Möllerin säestämänä, että alkaisiin tehdä tutkimustyötä aseman aineistosta. Aiheeksi esitettiin revontuliin liittyviä, sadan kilometrin korkeusalueella esiintyviä satunnaisia eli sporadisia E-kerroksia. Se sopi minulle, ja aloin syventyä aiheeseen.

Myöhemmin tajusin, että saksalaisilla oli ollut minulle tutkimustyötä ehdottaessaan ketunhantä kainalossaan. He näet tiesivät, että kun käyttäisin tutkimuksessani aseman ionogrammeja, pyrkisin huolehtimaan tunnollisesti siitä, että laitteet pysyisivät kunnossa ja tuottaisivat mittaus-tuloksia mahdollisimman aukottomasti.

## Toiminnan jatkamista suunnitellaan

Ionosfääriasema tuotti niin kiinnostavia tuloksia, että URSI:n kansalliskomiteassa ja Suomalaisen Tiedeakatemian observatoriotoimikunnassa heräsi halu vakinaistaa se. Tälle ajatukselle ne saivat tukea kansainvälisiltä tieteellisiltä järjestöiltä, ja Lindaun instituuttikin oli valmis jatkamaan yhteistyötä kanssamme.

Koska parakki oli tarkoitettu vain väliaikaiseen käyttöön, asemalle piti ruveta nyt suunnittelemaan pysyvämpiä tiloja. Ensin ajateltiin, että rakennettaisiin vain asuin- ja toimistorakennus ja jätettäisiin laitteet toistaiseksi parakkiin. Asuinrakennus olisi välttämätön siksi, että en voinut millään jäädä asumaan parakkiin. Perheeseemme oli nimittäin syntynyt esikoinen, ja hänen kohtaamisensa jännitteellisten laitteiden välissä olisi hengenvaarallista.

Turvauduimme Tarmon hyvin tuntemaan Rovaniemen maalaiskunnan rakennustarkastajan, rakennusmestari Erkki Ekforsin apuun. Hän ehdotti kolmiosaista, yksikerroksista tiilistä rivitaloa, jossa olisi täysi kellarikerros. Hän lupasi kypsytellä asiaa ja tulla käymään Sodankylässä alustavien piirustusten kanssa.

Tällä välin olin päässyt alkuun tutkimustyössäni. Olin kerännyt aineistoa sporadisen E-kerroksen esiintymisestä eripituisten magneettisten häiriöiden aikana ja käsitellyt sitä tilastollisesti. Magneettisen häiriöisyyden mittana käytin IGY:n alussa käyttöön otettuja Q-indeksejä, jotka mittaavat maan magneetikentän vaakasuoran komponentin vaihteluita neljänneksittäin. Maisteri Kataja määrittä niiden arvot Sodankylän magnetogrammeista.

Elokuussa 1958 asemalla kävi amerikkalainen vieras, tohtori Leif Owren Alaskan Collegesta. Hän ehdotti meille kiinnostavaa yhteistyötä, nimittäin viistoluotauksista pohjoisnavan yli Collegesta Sodankylään. Hän oli ajatellut alun perin Collegen vasta-asemaksi Kiirunaa, mutta Sodankylän kokemus viistoluotauksesta painoi vaa’an sen hyväksi. Owren tarjosi Sodankylään myös avaruuskohinan vaimennusmittaria riometriä. Esitin Owrenin tarjouksen observatoriotoimikunnalle, mutta koska hänen rahoittajansa oli Yhdysvaltain ilmavoimat, toimikunta ei uskaltanut hyväksyä yhteistyötä hänen kanssaan. Sellainen oli Suomen ulkopoliittinen tilanne siihen aikaan. Asia siis raukesi.

Jotta ionosfääriasema saataisiin vakinaistetuksi, Sodankylään piti ruveta hankkimaan kiinteitä virkoja. Meistä vain Mirja oli pysyvästi observatorion palkkalistalla, ja Eero Kataja oli luvannut ottaa maksaakseen vuoden 1959 alusta lukien toistaiseksi Tarmonkin palkan, mutta minä olin edelleen URSI:n kansalliskomitean stipendin varassa. Sen jatkuva maksaminen olisi ollut komitealle liian raskas taakka, joten Pentti Mattila esitti, että odottaessani viran perustamista itselleni hakisin ASLA-stipendiä lukuvuodeksi 1959–1960. Tein esityksen mukaisesti ja sainkin stipendin. Vietin lukuvuoden 1959–1960 Yhdysvalloissa Pennsylvanian valtionyliopistossa Penn Statessa. Valitsin sen siksi, että sen fysiikan laitoksen ionosfäärin tutkimusryhmä oli tehnyt erään löytämäni tieteellisen kokouksen esitelmäluettelon useimmat esitelmät.

Valintani osoittautui hyväksi. Sain suoritetuksi useita sellaisia kursseja, jotka olivat avuksi lisensiaattitentteilleni Suomessa. Lisäksi sain laadituksi professori Sidney Bowhillin ohjauksessa tutkielman sporadisen E-kerroksen tilastollisista ominaisuuksista. Se julkaistiin yliopiston raporttisarjassa, ja se sopi hyvin pohjaksi lisensiaattityölleni Suomessa.



Juhani Oksman kiipeämässä ionosfääriaseman mastoon.  
(Kuva: Juhani Oksman)



Ionosfääriaseman parakki.  
Etualalla vinttikaivo.  
(Kuva: Juhani Oksman)

Hans-Georg Möller, Juhani Oksman, Mirja Martin (Hämäläinen) ja Tarmo Mustonen parakin rappusilla.  
(Kuva: Juhani Oksman)



## Ionosfääriasema vakinaistetaan

Ionosfääriaseman toiminta oli sujunut Yhdysvalloissa ollessani hyvin. Tarmo Mustonen oli saanut lisääntyneen työmääränsä takia poissa ollessani pienen lisäpalkkion. Jotta hän ei joutuisi hoitamaan koko aikaa laitteita yksin, Lindaun instituutti oli lähettänyt hänen toverikseen syyskesällä 1959 Horst Werlen ja kesällä 1960 Benno Jungin. Mirja oli selvinnyt ionogrammien tulkinnasta kunnialla; vain kerran olin joutunut USA:sta käsin auttamaan häntä.

Saatoimme nyt jatkaa aseman toimintaa vakinaisena henkilökuntana. Suomalainen Tiedeakatemia oli näet tällä välin saanut aikaan sen, että Sodankylän geofysiikan observatorioon oli perustettu vuoden 1960 alusta lukien kolme uutta tointa, nimittäin ionosfääriaseman hoitajan, teknikon ja tulkinta-apulaisen toimet. Tarmo ja Mirja hoitivat takaisin tullessani jo omia toimiaan, ja minä astuin omaan toimeeni elokuun alusta lukien 1960.

Koska emme voineet jatkaa asumista parakissa, perheelleni tehtiin väliaikaisratkaisuna asunto observatorion päärakennuksen yläkerran kahdesta joenpuoleisesta vierashuoneesta.

## Uusi asemarakennus valmistuu

Saksalaiset olivat päättäneet jatkaa viistoluotauksia Sodankylän ja Lindaun välillä ja alkoivat rakentaa uutta laitteistoa sitä varten. Viistoluotauksen suurin vaikeus on saada lähetin ja vastaanotin tasakäyntiin eli saada taajuus muuttumaan molemmissa päissä samaan tahtiin. Kun viritykseen käytettiin kiertyviä säätökondensaattoreita, riittävän pienen taajuusvirheen saavuttaminen vaati valtavasti työtä. Nyt päätettiin käyttää täysin uutta periaatetta: sekä lähetin että vastaanotin hypäytettäisiin samassa tahdissa yhdeltä kiinteältä taajuudelta toiselle; nämä taajuudet johdetaisiin yhteysvälin molemmissa päissä olevista identtisistä kiteistä. Tasakäynti saataisiin näin ollen jopa täydelliseksi.

Uutta viistoluotainta ruvettiin rakentamaan Lindaussa tällä periaatteella. Saman tien useimmat muutkin luotaimen osat rakennettiin uudelleen, osaksi transistoroituina. Tätä uutta luotainta ei kuitenkaan saataisi sopimaan vanhaan parakkiin, eikä tämä ratkaisu tulisi parakin palovaarallisuuden takia muutenkaan uusille arvokkaille laitteille kysymykseen. Olisi siis rakennettava uusi asemarakennus. Annoimme sen suunnittelutehtävän Erkki Ekforsille.

Vaikka minun ja Tarmon asuntoasiat olivat jollain lailla järjestyksessä, tuntui oikealta suunnitella ionosfääriasemalle saman tien myös asuin- ja toimistorakennus. Se tarvittaisiin nimittäin kuitenkin pian, ja asema- ja asuinrakennusten pystyttäminen yhtä aikaa säästäisi kustannuksia tuntuvasti. Rakennuksilla voisi esimerkiksi olla yhteinen sähkö- ja lämpökeskus, vesijohto ja viemäröinti. Ekfors oli jo vuonna 1958 alustavasti suunnitellut asuinrakennuksen, ja hän päivitti nyt suunnitelmansa.

Laadimme Eero Katajan kanssa perustelut koko rakennusohjelmalle ja lähetimme sen

Ekforsin laatimien piirustusten ja alustavan kustannusarvion myötä observatoriotoimikunnalle. Asemarakennukselle Ekfors arvioi hinnaksi 5,2 miljoonaa (vanhaa) markkaa (120 000 euroa) ja asuinrakennukselle 22,5 miljoonaa markkaa (520 000 euroa).

Professori Diemingerin ansiosta Sodankylä sai lahjaksi uuden hienon kidekellon, jonka valmistajana oli tunnettu saksalainen mittalaittefirma Rohde & Schwarz. Vaikka uusi kello olisi helpottanut työtämme suuresti, emme uskaltaneet ottaa sitä käyttöön parakissa, vaan päätimme asentaa sen vasta uuteen asemarakennukseen – kunhan se joskus saataisiin. Rakennusasian edistämiseksi Dieminger lähetti observatoriotoimikunnan puheenjohtaja Keräselle kirjeen, jossa hän asetti ehdoksi uuden viistoluotaimen Sodankylään saamiselle, että se voitaisiin sijoittaa uuteen asemarakennukseen.

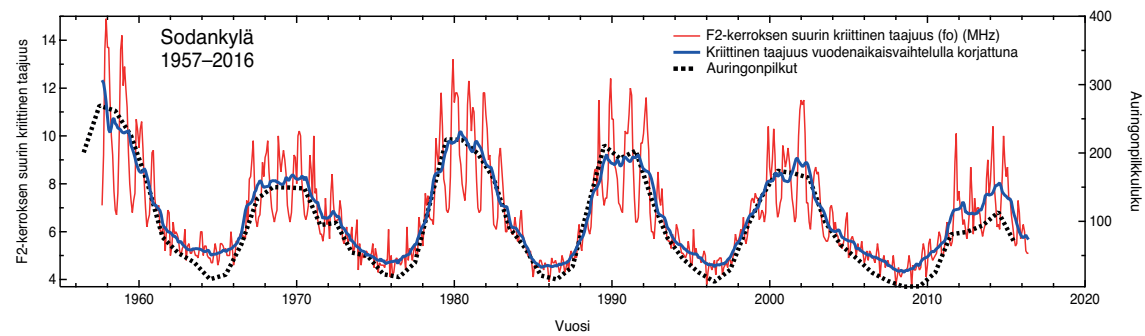
Maaliskuussa 1960 Suomalainen Tiedeakatemia hyväksyi rakennussuunnitelmat ja valtuutti meidät pyytämään Ekforsilta tarkemmat piirustukset. Kun olimme lähettäneet ne ja hankkeen tarkistetut perustelut, Tiedeakatemia esitti opetusministeriölle, että rakennusrahat otettaisiin joko vuoden 1961 lisämenoarvioon tai vuoden 1962 varsinaiseen menoarvioon. Opetusministeriö esittikin hanketta vuoden 1962 talousarvioon, mutta rakennusrahoja ei siihen tullut. Observatoriotoimikunta kävi silloin herhiläisen lailla ministeriön kimppeun ja sai siltä lupauksen, että asemarakennuksen pystyttämiseen saataisiin valtion käyttövaroja; asuinrakennus sen sijaan saisi jäädä odottamaan parempaa tulevaisuutta. Ministeriö myönsi sitten helmikuussa 1962 asemarakennusta varten viisi miljoonaa markkaa ja toukokuussa vielä vähän lisää niin, että Ekforsin tekemä kustannusarvio tuli katetuksi.

Observatoriotoimikunnan kehotuksesta aloimme valmistella rakennustyötä niin, että se päästäisiin aloittamaan keväällä heti lumen sullettua. Kun saadut urakkatarjoukset ylittivät käytettävissä olevat varat reippaasti, saimme opetusministeriöltä luvan rakennuttaa aseman omana työnä. Se merkitsi sitä, että hankimme rakennustarvikkeet ja annoimme rakennustyön osurakoina. Näin menetellen säästettiin rahaa, mutta samalla meidän työmäärämme kasvoi merkittävästi. Ekfors lupautui työn valvojaksi. Hän laati myös luettelot rakennustarvikkeista ja hankki urakoijat.

Ekfors oli piirtänyt meidän antamiemme suuntaviivojen mukaan tyylikkään talon. Se rakennettiin tiilestä ja varustettiin itsekantavilla kattotuoleilla, jotta väliseinien paikkoja voitaisiin tarvittaessa myöhemmin muuttaa.

Talo rakennettiin 180 neliömetrin suuruiseksi, ja siihen tuli useita huoneita laitteille sekä toimisto, työpaja ja valokuvauslaboratorio. Yhteen kojehuoneeseen sijoitettaisiin vanha pystyluotain, ja toinen, isompi kojehuone varattiin Saksasta tulossa olevaa uutta viistoluotainta varten. Myös kidekellolle ja sen akkuparistolle varattiin omat tilansa, ja yksi huone oli tulevia riometrejä varten. Rakennukseen ei tullut lämmityslaitteita, koska se ajateltiin liittää myöhemmin asuinrakennuksen keskuslämmitysverkostoon. Rakennuksen erikoisuus olivat kojehuoneiden lattioiden kannelliset kourut, joihin laitteiden kaapelit ja johdot saatiin piiloon.





Sodankylän geofysiikan observatorion ionosondiluotausten tuloksia kuuden auringonpilkkujakson ajalta 1957–2016. Kuvassa on punaisella ionosfäärin F2-kerroksen niin sanottu kriittinen taajuus ( $f_o$ ), jolla ionosondin lähettämä radiosignaali läpäisee ionosfäärin. Kriittinen taajuus kertoo ionosfäärin

maksimielektroniitiheyden. Sininen viiva on taajuuden kuukausiarvo, kun vuodenaikaisvaihtelu on poistettu. Musta viiva edustaa auringonpilkkujen määrää. F2-kerros esiintyy vain päiväsaikaan keskimäärin 300 kilometrin korkeudella. (IONOSFÄÄRIAINEISTO: SGO, KUVIO: Heikki Nevanlinna)

Aseman rakennustyö pantiin alulle kesäkuussa 1962, ja se eteni ripeästi. Kun opetusministeriön myöntämä summa uhkasi loppua kesken, jouduimme säästämään lopputöissä, teimmepä Tarmon ja Mirjan kanssa niitä talkoillakin. Näin saimme aikaan sen, että Ekforsille jäi hänen suuren työpanoksensa korvaukseksi edes pieni palkkio.

Siirrettyämme pystyloutaimen uuteen asemarakennukseen ja vedettyämme antennien syöttöjohdot siihen pääsimme aloittamaan mittaukset. Uusi kidekello pääsi omaan huoneeseensa ja sen iso, laimeaa rikkihappoa sisältävä akkuparisto sijoitettiin hyvällä ilmanvaihdolla varustettuun komeroon.

## Väitöksiä ja tutkimustyötä

Aseman vaatimien töiden ohessa tähtäsin opintojeni jatkamiseen. Ensimmäisenä tavoitteenani oli tekniikan lisensiaatin tutkinto. Sain lisensiaatintyön aikaan muokkaamalla USA:ssa laatimastani raportista suomenkielisen version ja täydentämällä sitä erällä Suomessa tehtyjen tutkimusteni tuloksilla.

Saatuani syyskuun lopulla 1961 todistuksen tekniikan lisensiaatin tutkinnosta aloin suunnitella väitöskirjaa. Tutkin prof. Diemingerin ehdotuksesta erityyppisten sporadisten E-kerrosten esiintymistä Sodankylässä eripituisten magneettisten myrskyjen aikana. Koska Suomessa ei ollut

vielä siihen mennessä tehty ionosfäärintutkimusta eikä Saksassakaan ollut revontulialueen ionosfäärin tuntemusta, jouduin toimimaan omin päin.

Keräsin työtäni varten Sodankylän ionogrammeista edustavia näytteitä erilaisista sadan kilometrin korkeusalueella esiintyvän sporadisen E-kerroksen tyypeistä. Erityisesti kiinnitin huomiota revontulihäiriön alkuvaiheissa illalla esiintyvään viivästävään Es-tyyppiin ja keksin, että sen "viivästysnenät" syntyvät aseman sivulta tulevista heijastumista. Päätelmieni tukena käytin hyväksi Sodankylän magneettisia rekisteröintejä, joista saatoin päätellä revontuleen liittyvän ionisaation paikan Sodankylään nähden.

Väitöksessä oli monta mutkaa, joiden oikominen vaati paljon kirjeenvaihtoa; puhelin oli näet siihen aikaan kaukopuheluihin lähes käyttökelvoton väline.

Väittelin toukokuun 28. päivänä 1963 Helsingin teknillisessä korkeakoulussa. Kustoksena toimi professori Martti Tiuri, ja toisena vastaväittäjänä oli Pentti Mattila. Koska toinen vastaväittäjä oli Ruotsin puolustusvoimain tutkimuslaboratorion FOA:n laborantti Rune Lindqvist, väitöstilaisuus tapahtui, suomenkielistä lectio praecursoriaani lukuun ottamatta, englanniksi. Vastaväittäjät hyväksyivät työni kolmituntisen hiillostuksen jälkeen (Oksman, 1963).

Niin kuin olen aikaisemmin kertonut, saksalaisten kiinnostus Sodankylän aseman pystyttämiseen perustui siihen, että he halusivat verrata Sodankylästä Lindauhun tehtyjen viistoluotausten tuloksia Uppsalassa, yhteysvälin keskipaikoilla, tehtyjen pystyloutausten tuloksiin. Kun mittauksia kertyi tarpeeksi, Möller laati väitöskirjan tästä aiheesta. Tuloksia analysoidessaan hän huomasi, että varsinkin öisin pystyloutausten avulla lasketut suurimmat viistoluotaustajuudet olivat systemaattisesti pienempiä kuin todellisuudessa mitatut. Hän keksi selityksen tälle ilmiölle ja väitteli Hannoverin teknillisessä korkeakoulussa jo vuonna 1961 (Möller, 1961).

Gerhard Rose oli alkanut jo vuonna 1959 mitata Sodankylästä Lindauhun lähetettyjen radioaaltojen matkallaan kokemaa vaimennusta. Kun hän halusi tehdä samanlaista mittauksia myös lyhemmällä matkalla, nimenomaan Pohjois-Suomessa, aloitimme lokakuussa 1961 kentänvoimakkuusmittauksen Sodankylän ja Kemin välillä. Posti- ja lennätihallitukselta lainaksi saatu lähetin sijoitettiin Kemin lentoasemalle ja Saksasta tuotu vastaanotin piirtureineen Sodankylään.

Olimme saaneet Saksasta vanhan, viistoluotaukseen käytetyn ionosondivastaanottimen ja kidekellon. Olin ajatellut käyttää niitä Sodankylän ja Nurmijärven välisiin viistoluotauksiin, mutta päätinkin, tukeakseni Rosen vaimennusmittauksia, tehdä aluksi viistoluotauksia Sodankylästä Kemiin. Viistoluotausvastaanotin ja kidekello sijoitettiin marraskuussa 1962 Kemin lentokentälle, ja mittaukset alkoivat seuraavan vuoden alussa. Radioasemalla huhtikuussa yllättäen sattunut tulipalo nokesi kuitenkin laitteet pilalle. Ne piti nyt, vain muutaman kuukauden käytön jälkeen, tuoda takaisin Sodankylään ja puhdistaa perusteellisesti. Tästä onnettomuudesta huolimatta Rose sai väitöskirjansa valmiiksi. Hän väitteli vuonna 1964 Göttingenin yliopistossa (Rose, 1964).

Jo lokakuussa 1961 olimme yllättäen saaneet uuden tutkimuskohteen. Neuvostoliitto teki näet ilmakehässä Novaja Zemljan yläpuolella, siis varsin lähellä Sodankylää, sarjan voimakkaita



ydinkokeita. Suurin niistä, 30.10.1961 tehty, vastasi räjähdysvoimaltaan 50 megatonnia trotyyliä eli noin 2 500 Hiroshiman pommia. Kokeiden aiheuttamat maanjäristysaallot rekisteröitiin seismografeilla eri puolilla maapalloa, ja kokeet aiheuttivat aaltoja myös ilmakehässä ja ionosfäärissä. Kataja rekisteröi ilmakehän paineaaltoja seismologian laitoksella valmistetulla yksinkertaisella mikrobarografilla ja sai niillä esille suoraan räjäytyspaikalta tulleiden aaltojen lisäksi myös maapallon ympäri kiertäneitä aaltoja. Ionosfäärissäkin esiintyi voimakkaita häiriöitä pian räjähdysten jälkeen, ja pienen etsimisen jälkeen löysimme myös ionosfäärirekisteröinneistä merkkejä maapallon ympäri kiertäneistä aalloista. Se oli jotakin uutta! Laadimme Rosen ja Katajan kanssa asiasta yhteisjulkaisun ja saimme sen julkaistuksi Nature-lehdessä (Rose et al., 1961). Julkaisu herätti kovasti huomiota ja poiki runsaasti yhteydenottoja ja eripainos- ja ionogrammipyyntöjä.

## Uusia asuntoja Tähtelään

Ionosfääriaseman asemarakennus oli osoittautunut toimivaksi. Kesällä 1963 oli sitten asuin- ja toimistorakennuksen vuoro. Piirustukset laati taaskin rakennusmestari Ekfors. Hän suunnitteli kolmiosaisen harjakattoisen rivitalon, johon tuli meidän ja Mustosten asuntojen lisäksi toimisto- ja vierashuoneosa. Pyrimme rakennusta kaavaillessamme ajattelemaan kaikkia mahdollisia tarpeita ja sijoitimme sen kellarikerrokseen lämpökeskuksen ja arkistohuoneen lisäksi saunan ja kaikki muut tarpeelliset aputilat, jopa autotallin.

Asuin- ja asemarakennukset liitettiin yhteen maanlaisella käytävällä, jossa kulkevat lämpö-, vesijohto- ja viemäriputket ja sähkökaapelit. Käytävästä saadaan myös kätevästi imetyksi kylmää ilmaa asemarakennuksen jäähdyttämiseen kesähelteellä.

Valtion vuoden 1963 budjettiin saatiin rahat rakennustyön aloittamista varten, ja loppuosa oli tarkoitus ottaa seuraavaan menoarvioon. Observatoriotoimikunta piti kuitenkin tärkeänä, että rakennustyö saataisiin tehdä valmiiksi yhteen menoon, ja otti sitä varten omavelkaisen lainan.

Rakennustyö edistyi tälläkin kertaa ripeästi, ja harjannostajaisia vietettiin lokakuun alussa 1963. Perheeni pääsi muuttamaan omaan asuntoonsa helmikuun alussa 1964. Mustosten asunto valmistui seuraavana ja toimistopää viimeisenä.

## Uusia mittauksia

Revontulen tienoilla esiintyvissä virtauksessa syntyy epästabiilisuuden takia elektronien kimputtumista, ja tämä aiheuttaa saapuvien radioaaltojen siroamista; ilmiölle on annettu nimi radiorevontuli. Aallot siroavat parhaiten, jos ne kohtaavat kohtisuoraan Maan magneettikentän voimaviivat, jotka ovat maapallon napa-alueilla lähes pystysuorassa. Sain Lindausta Göttingenin

yliopiston tietokoneella lasketut taulukot siitä, miltä alueelta sirontaa Sodankylässä saadaan ja siirsin tulokset kartalle.

Sitten oli itse mittausten vuoro. Päätin käyttää niissä oman revontulitutkan sijasta hyväksi Yleisradion ULA-asemia, aluksi Ylivieskan ja sitten Pihtiputaan asemaa.

Sain selville, että revontulikaiut olivat iltapäivällä selvästi erilaisia kuin yöllä, ja laadin tästä ilmiöstä julkaisun. Selitin ilmiön johtuvan siitä, että ionisaatio on päivällä Auringon paistaessa säännöllisempää kuin yöllä, kun auringonsäteily on poissa.

Olimme tällä välin puhdistaneet Kemissä tulipalossa nokeutuneen viistoluotausvastaanottimen. Päätin tehdä sen avulla viistoluotauksia Kevon suuntaan, jotta voisin tutkia, miten ionosfäärin pilvet liikkuvat pohjoisimmassa Suomessa. Kuljetimme siksi vastaanottimen ja kidekellon Kevolle ja sijoitimme ne siellä Turun yliopiston biologisen aseman kellariin. Koska siihen aikaan asemalle ei ollut autotietä, jouduimme kuljettamaan laitteet Kevojoen yli lautalla.

Kevon vastaanottoasemaa varten tarvittun antennin rakensimme yhdessä Kullervo Ruumensaaren kanssa. Uitimme Kullervon kanssa Inarin piirimetsänhoitajan toimittamat mastopuut Kevojoen yli ja kannoimme ne törmää ylös mastolle valitulle paikalle. Sodankylässä mastolle kootun teräsjalustan pystytimme Ruumensaaren kanssa kalliolle asemarakennuksen lähelle.

Olin sopinut Eero Katajan luvalla Ilmatieteellisen keskuslaitoksen ja Helsingin yliopiston seismologian laitoksen kanssa, että Geofysiikan observatorio maksaisi yhdessä niiden kanssa palkan Kevolle tulevien uusien laitteiden hoitajalle. Koulutimme aluksi Kullervo Ruumensaaren pitämään huolta Kevon ionosfäärilaitteista, seismografeista ja revontulikamerasta, mutta kun hän ei viihtynyt Kevolla, jouduimme pian kouluttamaan hänen tilalleen Raimo Mannermaan.

Saimme Lindausta tohtori Günther Lange-Hessestä uuden yhteistyökumppanin. Hän tarjosi käyttöömmme ensinnäkin riometriä eli laitetta, jolla vastaanotetaan avaruudesta peräisin olevaa radiokohinaa. Tämä kohina vaimenee revontulten aikaan voimakkaasti ionosfäärin alaosassa olevassa D-kerroksessa, ja tämä antaa radiorevontulen lisäksi toisen mahdollisuuden havaita revontuli-ilmiötä myös päiväsaikaan. Ensimmäisenä saamamme amerikkalainen riometri oli häiriöherkkä, mutta myöhemmät norjalaiset laitteet toimivat pienten muutosten jälkeen hyvin.

Toinen yhteistyössä Lange-Hessen kanssa aloitettu mittaus oli pitkäaalto- eli VLF (Very Low Frequency) -mittaus. Siinä mitattiin pohjoisnavan vastakkaiselta puolelta, USA:n Seattlesta ja Washingtonista lähetettyjen pitkien radioaaltojen voimakkuutta ja vaiheen muutosta. Tarkoituksena oli saada esille niin sanotun napakalottivaimennuksen esiintyminen. Siinä auringosta maapallon napa-alueelle ajoittain saapuva voimakas elektronisuihku aiheuttaa ionosfäärin alareunan laskeutumisen alemmas. Ilmiön nimi johtuu siitä, että napakalotin ionosfäärin läpi kulkevien lyhyiden radioaaltojen vaimennus kasvaa silloin voimakkaasti. Koska pitkät radioaallot eivät tunkeudu ionosfääriin vaan etenevät maanpinnan ja ionosfäärin alareunan välisessä eräänlaisessa kaarevassa aaltoputkessa, napakalottivaimennuksen alkamiseen liittyvä alareunan laskeutuminen aiheuttaa muutoksen aaltojen vaiheessa.



Uuden ionosfääriaseman  
akkupariston ääressä vasemmalta  
Erkki Ekfors, Tarmo Mustonen,  
Benno Jung ja Juhani Oksman.  
(Kuva: Juhani Oksman)

Pääsimme kokeilemaan VLF-laitteita vuoden 1965 alussa. Koska ionosfääriaseman häiriöt estivät mittaukset Tähtelässä, sijoitimme vastaanottimet Sodankylän kirkonkylään. Riometrimittausten tulokset saimme suomalaisten tutkijain käyttöön, mutta sen sijaan VLF-rekisteröinnit toimitettiin tutkittaviksi Lindauhun.

Lindausta tuli myös tekokuumittausta koskeva tarjous, tekijänä nuori tohtori Gerd Hartmann. Tarkoitus oli ottaa vastaan amerikkalaisen satelliitin lähettämiä radioaaltoja ja rekisteröidä niiden muutoksia. Kun satelliitti liikkuu radallaan maapallon ympäri, siitä vastaanotettujen radioaaltojen kentänvoimakkuus, sähkökentän suunta ja taajuus näet muuttuvat, ja nämä muutokset antavat tietoa satelliitin ja vastaanottoaseman välillä olevasta ionosfääristä. Saatuani suunnitelmalle observatoriotoimikunnan siunauksen hyväksyin tarjouksen. Aloitimme satelliittisignaalien sähkökentän suunnan eli polarisaatiotason kiertymisen (Faraday-kiertymän) mittaukset elokuun alussa 1965. Sijoitimme satelliittilaitteet kirkonkylään samaan tilaan VLF-laitteiden kanssa.

### Opettajaksi Oulun yliopistoon

Syksyllä 1959 toimintansa aloittaneen Oulun yliopiston oli ymmärrettävistä syistä alkuun vaikeata saada rekrytoituksi opettajavoimia, joten se joutui haravoimaan käyttöön kaikki vaikutuspiirissään olevat potentiaaliset voimat. Niinpä minäkin tulin kutsutuksi mukaan yliopiston opetustalkoisiin.

Sain joulukuussa 1961, pian lisenssiaatin tutkinnon suorittuani, yliopiston fysiikan professorilta Pentti Tuomikoskelta yllättävän tarjouksen hoitaa vapaaksi tullutta fysiikan apulaisprofessuuria kevätlukukaudella 1962. Kun pääsimme sopimukseen minulle tulevista luennoista, päätin suostua tarjoukseen. Muutimme saman tien koko perheen voimin muutamaksi kuukaudeksi Ouluun. Niinpä sitten matkustin neljän kuukauden ajan viikoittain edestakaisin Oulun ja Sodankylän väliä. Sodankylässä asuin tutussa parakissa. Tarmo sai taas pienen korvauksen lisääntyneestä työmäärästään ja vastuustaan.

Olin vuonna 1962 mukana suunnittelemassa geofysiikan opetuksen aloittamista Oulun yliopistossa. Opetus päästiin aloittamaan syksyllä 1963 approbatur-kurssilla. Opetin kevätlukukaudella 1964 tuntiopettajana approbatur-kurssista kiinteän maan geofysiikan, maamagnetismin ja aeronomian osuuden. Näistä vain viimeksi mainittu oli minulle joiltakin osilta tuttu, joten jouduin opiskelemaan paljon uusia asioita.

Kevätlukukaudella 1965 luennoin approbatur-kurssin lisäksi aeronomian cum laude-kurssin, silloin jo geofysiikan dosenttina. Eero Kataja luennoi maamagnetismin cum laude -kurssin.

Oulun yliopiston teknillisen tiedekunnan sähköinsinööriosasto aloitti toimintansa syyslukukaudella 1965, ja sen ensimmäinen professori, yleisen ja teoreettisen sähkötekniikan professorin virka, perustettiin maaliskuun alusta 1966 lukien. Kun viralle ei ilmaantunut hakijoita ja koska uudelle osastolle tarvittiin kipeästi vetäjä, minua kehoitettiin hakemaan virkaa. Arveltiin,

että voisin saada sen, olinhan tekniikan tohtori. Vaikka tähtäsin yliopistoon perusteilla olevaan geofysiikan professuuriin, suostuin tuumaan ja jätin hakemukseni. Ajattelin, että voisin auttaa sähköosaston alkuun geofysiikan virkaa odottaessani.

Anoin eroa Tähtelän toimistani syyskuun alusta 1966 lukien. Observatoriotoimikunta hyväksyi eroni ja nimitti minut pienestä palkkiosta observatorion tieteelliseksi neuvonantajaksi. Sain nimityksen sähkötekniikan professoriksi vuoden 1967 alusta lukien.

Minun oli hankittava itselleni seuraaja Sodankylään. Kun olin saanut kieltävän vastauksen parilta potentiaaliselta seuraajalta, sain lopulta fysiikan laitoksen assistentin Seppo Koivumaan lähtemään Tähtelään. Erikoista tässä prosessissa oli se, että vaikka minua pidettiin "hulluna, kun lähdän pois niin hyvästä paikasta", halukkaasti seuraajan löytäminen oli vaikeaa.

Autoin Sepon alkuun hänen tutkimuksessaan. Tutkimuskohteeksi valitsimme ionosfääriin todellisen elektronitiheysprofiilin määrittämisen ionogrammeista. Koska aalto etenee ionisoituneessa kerroksessa hitaammin kuin neutraali-ilmakheässä, se näyttää heijastuvan takaisin todellista korkeutta ylempää. Sepon työn aiheena oli ionogrammin elektronitiheysprofiilista antaman vääristyneen kuvan oikaisu. Hän sai työssään apua Lindaun instituutista tähän ongelmaan perehtyneeltä tohtori Walter Beckeriltä.

Kävi sitten niin, että kun Seppo Koivumaa tarvitsi ionosfääriin todellisen heijastuskorkeuden laskemiseen tietokonetta, hän ihastui välineeseensä niin syvästi, että päätti vaihtaa alaa ja palasi kesällä 1971 Oulun yliopistoon tietotekniikan tutkijaksi. Ionosfääriasema tarvitsi siis taas uuden hoitajan – mutta se on jo toinen juttu.



Uusi ionosfääriasema valmiina vuonna 1962. (Kuva: Juhani Oksman)



Kuva 2.10. Ionosfääriaseman uusi toimisto- ja asuinrakennus. (Kuva: Juhani Oksman)

## 2.4

# RADIOASTRONOMIAA TÄHTELÄSSÄ

Juhani Oksman

Tekniikan ylioppilas Jorma Riihimaa<sup>29</sup> oli ollut jo useita vuosia Helsingin yliopiston radioastronomisella asemalla professori Jaakko Tuomisen<sup>30</sup> palveluksessa suunnittelemassa ja rakentamassa laitteita radiotähtien signaalien vastaanottamiseen, kun hän loppuvuodesta 1955 astui asevelvollisuuttaan suorittamaan. Hän tarvitsi siis kipeästi itselleen sijaista ja tuli siksi alkuvuodesta 1956 Teknillisen korkeakoulun radiolaboratorioon etsimään sellaista. Satuun onnekseni olemaan paikalla. Koska olin ehtinyt opinnoissani jo neljännelle vuosikurssille ja minulla oli mahdollisuus osa-aikaiseen ansiotyöhön, ilmoittauduin halukkaaksi tehtävään. Sainkin sen.

Työpaikkani oli Tuomisen pieni radioastronominen asema Helsingin yliopiston fysiikan laitoksessa Siltavuorenpenkereellä. Riihimaa oli jo ehtinyt suunnitella siellä uudet Sodankylään ja Keimolaan sijoitettavat radioastronomiset vastaanottimet. Kysymyksessä olivat 45 MHz:n taajuudella toimivat vaihekytketyt interferometrit (Ryle, 1952). Riihimaa oli myös hankkinut pääosan laitteisiin tarvittavista osista. Minun tehtäväni oli koota erään toisen opiskelijan toverina nämä vastaanottimet. Riihimaa kävi lomillaan katsomassa, miten työ sujui ja antoi meille tarvittaessa neuvoja.

Toukokuun lopulla 1956 vastaanottimet alkoivat olla valmiit, ja matkustimme prof. Tuomisen kanssa Tähtelään katsastamaan paikkaa kopille, johon toinen vastaanottimista sijoitettaisiin. Tapasin

<sup>29</sup> Jorma Riihimaa (1929–2011) oli Oulun yliopiston tähtitieteen dosentti.

<sup>30</sup> Jaakko Tuominen (1909–1989) oli Helsingin yliopiston tähtitieteen professori 1951–1974. Hän toi Suomeen nykyaikaisen astrofysiikan tutkimuksen.



silloin ensi kertaa maisteri Eero Katajan. En voinut aavistaa, että hänestä tulisi pian esimieheni.

Sovimme Katajan kanssa kopille paikan absoluuttihuoneen läheltä. Sain tehtäväkseni laatia kopille piirustukset; niistä tuli kopin kokoon nähden kovin perusteelliset. Kopista tuli pohjapinta-alaltaan noin kolmen neliömetrin suuruinen, pulpettikattoinen ja muutenkin elävästi puuseen näköinen. Rakennustyöt sai tehdäkseen paikallinen asutustilallinen Kauko Kurkela. Observatorion väki antoi rakennukselle sen tähtitieteellisen tehtävän takia kekseliään lempinimen "Horoskooppi".

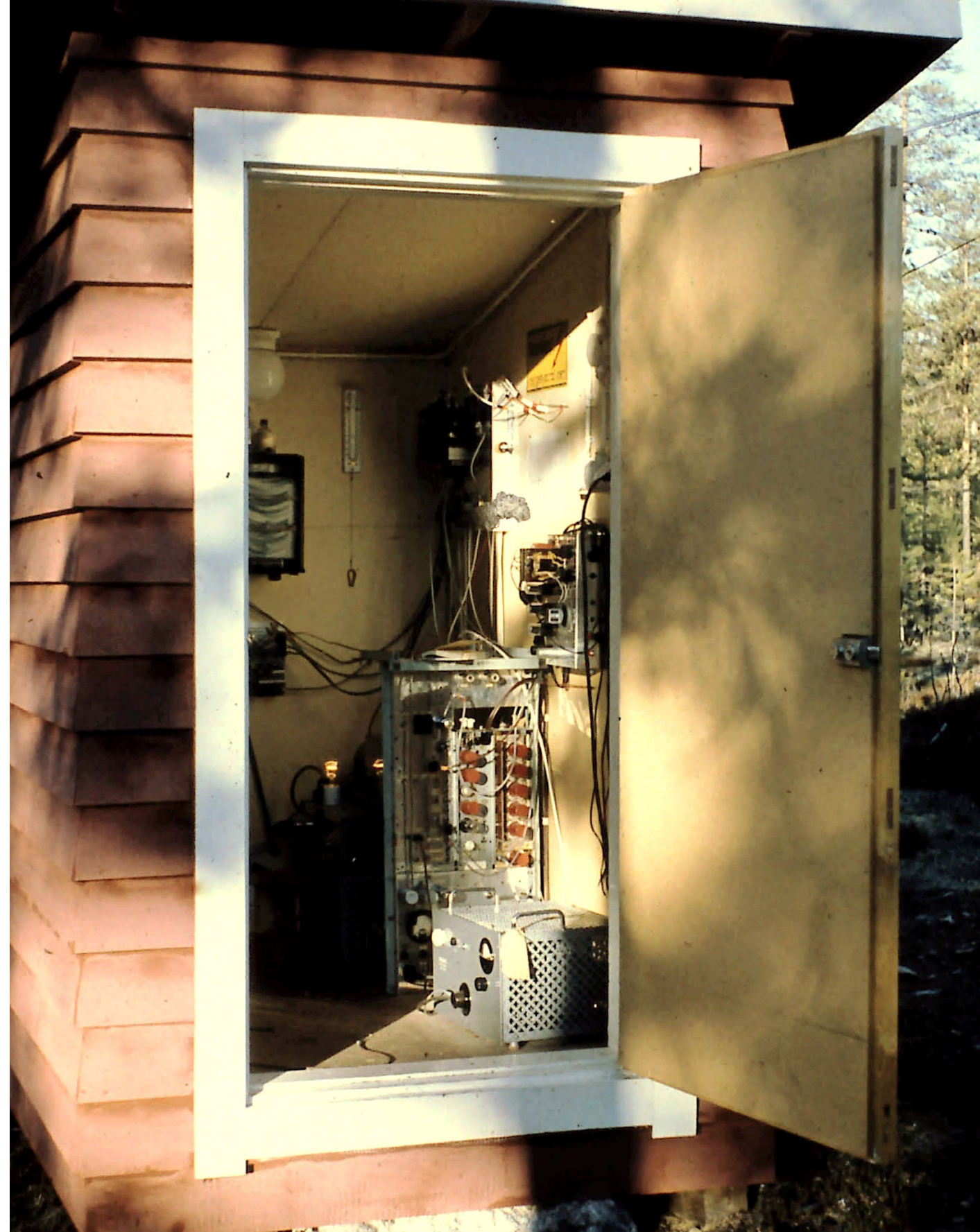
Myöhemmin kesällä rakennutin samantapaisen kopin antennineen Keimolaan Helsingin lähelle.

Palattuaan asepalveluksesta Jorma Riihimaa vei kesäkuussa 1957 toisen radioastronomisista vastaanottimista Tähtelään ja viritti sen toimintakuntoon. Vastaanotettavana oli voimakas radiotähti Cassiopeia A. Tuloksena oli tavallisesti kaunis aaltomainen käyrä, mutta usein, varsinkin öisin, tähden signaali joko alkoi vaihdella nopeasti eli vilkkua tai hävisi mystillisesti kokonaan näkyvistä.

Kun aloitimme elokuussa 1957 Tähtelässä ionosfääriluotaukset, meille tuli pian vaikeuksia radioastronomisten mittausten kanssa. Pystyluotaukset eivät niitä juuri häirinneet, eivät myöskään viistoluotaukset, kun lähetettiin 50 pulssia sekunnissa. Häiriöt kasvoivat kuitenkin ratkaisevasti, kun saadaksemme parempia viistorekisteröintejä pidensimme syystalvella pulssien pituuden kaksinkertaiseksi ja lähetimme niitä vastaavasti puolta harvempaan tahtiin eli 50 pulssia kahdessa sekunnissa. Jorma Riihimaa ja professori Tuominen protestoivat häiriöistä ankarasti, ja yritimme keksiä, miten pälkähästä päästäisiin. Riihimaa lähetti meille lähetintä varten rakentamansa suodattimenkin, mutta sekään ei auttanut. Jouduimme jopa vähentämään viistoluotauksen määrää, jotta häiriöitä olisi harvemmin. Lopulta huomasimme kokeilla, mitä tapahtuisi, jos lähettäisimme pulsseja vielä harvemmin eli 50 pulssia kolmessa sekunnissa. Silloin häiriöt olivat miltei poissa samalla tapaa kuin alkuperäisellä pulssitaajuudella. Tilanne oli pelastettu!

"Ionoskooppi" oli siis häirinnyt "Horoskooppi". Pian keksimme, että sama koski niiden mittaushavaintojen: syypää radiotähtien signaalien muutoksiin oli ionosfääri. Analysoidessani Cassiopeia A:n rekisteröintejä Sodankylässä ja Keimolassa sain selville, että niissä näkyvät muutokset johtuivat ionosfäärin F-kerroksessa usein esiintyvistä sirottavasta vyöhykkeestä, jonka läpi signaali joutui etenemään matkallaan radiotähdessä antenniin. Se joko aiheutti vilkkumista radiotähden signaalissa tai voimakkaimmillaan levitti signaalin niin laajaan avaruuskulmaan, että sitä ei voitu enää interferometrillä havaita. Sama vyöhyke muutti ionogrammeissa F-kerroksen kaiututtuiksi. Se siirtyi aamuyön tunteina etelää kohti, mistä johtuen häipymiset esiintyivät Keimolassa myöhemmin kuin Sodankylässä (Oksman, 1964).

Sodankylän observatorion radioastronomian havaintokoppi, "Horoskooppi", laitteineen. (Kuva: Juhani Oksman)





# 2.5

## KEVON SATELLIITIASEMA JA TÄHTELÄ

Juhani Oksman

Saksan liittotasavalta oli sodan häviöjälkeen jäänyt Euroopan avaruusyhteistyön ulkopuolelle. Useiden muiden maiden avaruusalan yritykset olivat muodostaneet teollisuusyhtymiä, jotka kilpailivat menestyksellisesti avaruuslaitteiden suunnittelusta ja valmistuksesta. Pääsy tällaisen yhtiön jäseneksi olisi edellyttänyt näyttöä alan kokemuksesta. Sitä taas ei saksalaisilla yrityksillä ollut, koska ne eivät olleet päässeet laitteita valmistamaan. Tämän noidankehän murttamiseksi Saksassa päätettiin aloittaa oma satelliittiohjelma. Tarkoituksena oli, että Saksan teollisuus saisi sen avulla alan kokemusta ja voisi siten päästä mukaan kansainväliseen avaruusyhteistyöhön.

Jotta satelliittien rakentamisen voisi perustella saksalaisille veronmaksajille, niille oli keksittävä jokin mielekäs tehtävä. Luonnollisimmalta tuntui rakentaa lähiavaruuden tutkimukseen käytettäviä tieteellisiä satelliitteja, ja siihen tarvittiin alan tutkijoiden apua. Kun Max-Planck-Institut für Aeronomiassa Lindaussa oli jo kauan tehty maan lähiavaruuden tutkimusta sekä maanpäällisillä laitteilla että stratosfääriin nostetuilla mittareilla, sen tutkijoita valjastettiin nyt suunnittelemaan mittalaitteita Saksan satelliittiohjelmaa varten.

Lindaussa kaavailtiin, että rakennettavassa satelliitissa olisi elektroni- ja protoni-ilmaisimia ja magnetometrejä sekä fotometrejä revontulen ja ilmahehkun mittaamiseen. Satelliitin lähetin toimisi jatkuvasti ja lähettäisi mittaustietoja vastaanottoasemille, joilla olisi suunnattavat antennit ja vastaanottimet nauhureineen mittaustietojen rekisteröimiseen.

Satelliittien mittaustulosten tallentamiseen oli saatava aikaan tarpeeksi kattava verkosto maa-asemia. Koska Lindaun instituutilla oli ollut pitkään yhteistyötä Sodankylän geofysiikan observatorion kanssa, oli luonnollista käyttää meidän suomalaisten apua ja pystyttää yksi tar-

vittavista maa-asemista Pohjois-Suomeen. Turun yliopiston biologinen asema Kevolla vaikutti sopivalta sijoituspaikalta, ja siksi aloimme yhdessä saksalaisten kanssa suunnitella asemaa sinne. Paikkahan oli meille tuttu jo ennestään Sodankylän ja Kevon välisen viestoluotauksen ajoilta.

Suostuin toimimaan alkuvaiheessa aseman rakentamisen suomalaisena koordinaattorina. Kävi kuitenkin sittemmin niin, että koko Kevon aseman hoito jäi minun vastuulleni, ja tämä vaati vuosien mittaan monta mapillista kirjeenvaihtoa ja runsaasti muuta yhteydenpitoa. Asiaa vaikeutti se, että yhteistyökumppaneina Saksassa oli useita eri organisaatioita ja että niiden vastuusuhteet muuttuivat ohjelman valmistelun aikana. Yhteistyösopimus solmittiin lopuksi Suomalaisen Tiedeakatemia ja Lindaun Max Planck -instituutin välille.

Ensimmäiset yhteydenotot satelliittiaseman perustamiseksi Suomeen tapahtuivat touku-kuussa 1966. Syyskesällä 1968 oltiin monen vaiheen jälkeen niin pitkällä, että Kevolle kuljettiin ja pystytettiin paikoilleen iso Rohde & Schwarzin valmistama vastaanottoantenni. Sen ohjauslaitteet ja vastaanotin tuotiin maahan syystalvella.

Ensimmäiselle saksalaiselle satelliitille oli annettu nimi Azur. Se laukaistiin useiden viivästysten jälkeen marraskuussa 1969 ja luotain vaikenä kesäkuun lopulla 1970 toimittuaan kahdeksan ja puoli kuukautta (Reinke, 2004).

Maa-asemilla oli Azurin tapauksessa vain vastaanottimet. Vuonna 1972 kaikille maa-asemille, siis myös Kevolle, toimitettiin komentolähetin kahta seuraavaa saksalaista satelliittia varten. Lähetin oli sijoitettu konttiin, jonka katolla oli suunnattava antenni. Lähettimen avulla satelliitti komennettiin lähettämään Kevon yli kulkiessaan sellaiset mittaustulokset, jotka se oli tallentanut nauhalle ollessaan vastaanottimen ulottumattomissa. Kun näin tapahtui muillakin asemilla, mittaustuloksia saatiin suhteellisen aukottomasti.

Uusista satelliiteista ensimmäinen, Aeros A:ksi kastettu, laukaistiin joulukuussa 1972 ja se putosi lennettyään kahdeksan kuukautta. Sen sisarsatelliitti Aeros B saatettiin radalleen heinäkuussa 1974 ja se lensi 14 kuukautta (Lämmerzahl et al., 1979).

Kevon maa-aseman laitteet toimivat kohtuullisen hyvin. Tietysti niitä jouduttiin välillä korjaamaan, ja Tarmo Mustosen osuus oli tässä työssä korvaamaton.

Kevolla mitattiin yhteensä kaksi ja puoli vuotta, ja suomalaisten työpanos oli noin puoli miestyövuotta vuodessa. Vastoin alkuperäisiä alustavia sopimuksia me suomalaiset emme päässeet osallistumaan mittaustulosten käsittelyyn ja julkaisujen laatimiseen. Saimmekin lähinnä vain mielenkiintoista kokemusta avaruustoiminnasta.

Minulla on se käsitys, että saksalaiset satelliitit eivät tuottaneet erityisen tärkeitä tieteellisiä tuloksia. Sen sijaan teollisuuspoliittisesti satelliittiohjelma täytti tarkoituksensa: Saksan teollisuus sai näet tarvitsemaansa kokemusta satelliittien ja niissä tarvittavien laitteiden suunnittelusta ja rakentamisesta, ja seurauksena tästä se pääsi mukaan eurooppalaisiin teollisuuskonsortioihin. Me suomalaiset olimme olleet tässä ratkaisevana apuna.

Kun Kevon aseman laitteet olivat tehneet Saksan kannalta tehtävänsä, ne lahjoitettiin Suo-

malaiselle Tiedeakatemialle. Kesällä 1975 kookas vastaanottoantenni siirrettiin puolustusvoimien isolla kuljetushelikopterilla Sodankylään. Halkaisijaltaan yli kymmenmetrisen antennin ilmamatka tunturien yli helikopterin kyydissä oli sen nähneille varmaan unohtumaton näky. Antennin jalusta ja satelliittiaseman vastaanotin- ja ohjauslaitteet siirrettiin Sodankylään maanteitse. Kevon satelliittiaseman laitteita käytettiin Tähtelässä usean vuoden ajan eri satelliittien lähettämien mittaustietojen vastaanottamiseen.

Kevon satelliittiantenni Tähtelässä.  
Vasemmalla revontulikameraa  
varten rakennettu torni.  
(Kuva: Juhani Oksman)





# 2.6

## IONOSFÄÄRILUOTAUKSET 1960-LUVUN JÄLKEEN

Tauno Turunen

Maan ilmakehä on yli 70–1000 kilometrin korkeuksissa merkittävässä määrin ionisoitunut ja tätä aluetta kutsutaan ionosfääriksi. Elektronitiheys on maksimissaan 200–500 kilometrin korkeuksissa. Noin 1000–2000 kilometrin yläpuolella ilmakehän voi katsoa loppuvan ja alkaa magnetosfääri, missä aine on maan magneettikentän kontrolloimaa täysin ionisoitunutta plasmaa.

Ionosfääriin ionisaatiomaksimin alapuolista rakennetta on jo 1920-luvun loppupuolelta lähtien mitattu vertikaalisella tutkalla, jota kutsutaan ionosfääriluotaimeksi. Mittalaite perustuu siihen, että ionosfäärissä radioaaltojen nopeus ja heijastuminen määräytyvät plasman tiheydestä. Maan magneettikentästä ja radioaallon polarisaatiosta. Yleensä ionosfääriluotain on tutka, joka valaisee kohteen muutaman kymmenen mikrosekunnin pituisilla radioaaltoimpulsseilla, joiden taajuutta muutetaan pulssien välillä. Pulssien väli on tavallisesti 20 millisekuntia. Mittauksessa käydään lävitse tyypillisesti noin 1 MHz:stä noin 16–20 MHz:iin ulottuva taajuusalue. Mittaus kestää kymmenistä sekunneista aina muutamaan minuuttiin laitteesta riippuen ja toistetaan useita kertoja tunnin aikana.

Muitakin laiteratkaisuja on olemassa. Mittaustulos saadaan ”ionogrammina”, joka esittää ionosfääristä saatavien kaikuja havaitun kulkuajan mittaustaajuuden funktiona. Mittauksen tulokinta tehdään kansainvälisesti sovittuja sääntöjä noudattaen.

Sodankylän geofysiikan observatorion ensimmäinen ionosfääriluotain saatiin Saksasta 1950-luvulla (ks. Juhani Oksmanin kirjoitusta aiheesta). Tämä ionosfääriluotain alkoi tekniikaltaan tulla auttamatta vanhaksi jo 1960-luvun loppupuoliskolla, jolloin elektroniikka alkoi lähes kaikissa sovellutuksissa siirtyä käyttämään puolijohteita. Vanhojen elektroniputkiin perustuneiden

laitteiden huollettavuus alkoi vaikeutua komponenttien saatavuuden heikentyessä. Suomessa olleet kaksi ionosfääriluotainta Sodankylässä ja Nurmijärvellä oli uusittava. Luotaimet päätettiin suunnitella ja rakentaa itse. Samalla uskottiin suorituskyvyn paranevan uusien menetelmien avulla. Mahdollisia vientimarkkinoitakin ajateltiin, sillä ongelma oli maailmanlaajuinen ja koski siten monia.

Hanketta toteuttamaan luotiin projekti, johon osallistuivat Sodankylän geofysiikan observatorio ja Posti- ja lennätinlaitoksen radio-osasto, jotka molemmat tuolloin operoivat Suomessa ionosfääriluotaimia, sekä Helsingin teknillinen korkeakoulu ja Oulun yliopisto, joilla oli tekniikan asiantuntemusta ja kiinnostusta. Monet luotaimen rakenneosat sopivat erinomaisesti opinnäytetyön kohteeksi ja niitä toteutuikin.

Luotaimen lähteen modulaatioksi valittiin perinteisen yksinkertaisen muutaman kymmenen mikrosekunnin pituisen lähetinpulssin sijaan 180° vaihehyppyillä moduloitu lähetinpulssi, joka noudatti tutkatekniikassa hyvin tunnettua 7 bitin Barker-koodia. Vastaanottimessa tarvittu koodin purku ja kompressio toteutettiin televiisiotekniikan käyttämällä viivekomponenteilla. Tällä tavoin signaali-kohinasuhteen uskottiin tulevan riittävän hyväksi perinteistä ratkaisua paljon pienemmällä lähettimen maksimiteholla. Tyypillisen noin 10 kilowatin tehon sijaan oletettiin tultavan mainiosti toimeen esimerkiksi 1 kilowatin teholla. Ionosfääriluotain tarvitsi lähettimen ja vastaanottimen lisäksi eri kohteissa esiintyvien taajuuksien syntetisaattorin, ajoitukseen sopivan kellon, eri luotausohjelmien toteuttamiseen tarvittavan kontrollerin, signaalin käsittelylaitteet, rekisteröintilaitteet ja useita teholahteita.

Luotaimen taajuusalue oli varsin tavanomainen 1–16 MHz. Eri pistetaajuuksia syntetisoitiin satoja ja samalla taajuudella pulssi toistettiin 10 kertaa ja ilmaistut signaalit summattiin. Tällä saavutettiin parannus signaali-kohinasuhteeseen. Ionogrammi rekisteröitiin perinteisellä tavalla tulostamalla kuvana filmille.

Kaikki näytti hyvältä. Luotainta kutsuttiin nimellä IS-14. Aivan puolijohdelaitte se ei ollut. Lähetin sisälsi nimittäin edelleenkin yhden elektroniputken lähettimessä.

Prototyyppiä päästiin 1970-luvun alussa testaamaan ja silloin alkoivat vaikeudet. Vastaanottimessa käytetyt kidesuotimet olivat väärin perustein valittuja ja vastaanotin ei ollut sopivasti vaimentuva. Vastaanotin oli käytännössä myös liian kohinainen. Taajuussynteesi tuotti epäpuhtaita signaaleja. Lisäksi kävi heti ensimmäisten ionosfäärikaikujen rekisteröinnin jälkeen selville, että 7 bitin Barker-koodin tuottamat sivunauhat ovat aivan liian suuret, eikä tällaista modulaatiota voinut käyttää ionosfääriluotauksessa. Tarvittiin siis paljon muutoksia eikä niistä tässä voi ja kannata kuvailla kuin muutamia.

Sodankylän laitteen vastaanotin ja taajuuksien syntetisaattori uusittiin käytännössä kokonaan. Pulssin sisäinen vaihemodulointi poistettiin. Vastaanottimen ilmaisin muutettiin tuottamaan kompleksista signaalia. Samalla taajuudella lähetettyihin pulsseihin liitettiin pulssista-pulssiin vaihekoodi, joka varsin tehokkaasti vaimensi amplitudimoduloituja radioasemia, mikäli





Tauno Turunen Sodankylän ionosondin lähettimen äärellä vuonna 1972. (Kuva: SGO)

modulaatio oli vähäinen, aseman kantoaallon taajuus hertseinä oli kokonaisluku kertaa 100 Hz ja käytettiin samalla taajuudella lähetettyjen pulssien vaihekoherenttia integrointia. Tämä lisäsi käytännössä merkittävästi kaiun havaitsemista erikoisesti keskipitkäaaltoalueen taajuuksilla. Signaalin prosessointia kehitettiin, mutta ei digitaalisesti, vaan 1970-luvun alkupuolen analogisten komponenttien sallimissa rajoissa.

Vasta vuonna 1978 alkoi lopultakin uusi melkein kokonaan uudelleen rakennettu IS-14 tuottamaan tulkittua aineistoa Sodankylässä. Sitä oli toki silloin jo käytetty noin vuoden verran käytännössä rinnakkain vanhan luotaimen kanssa.

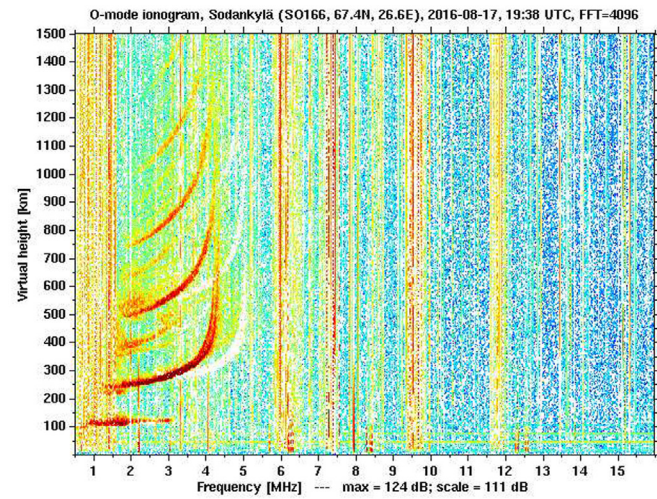
Sodankylän IS-14 luotaimen muutostyöt suunnitteli ja suurelta osin toteutti Tauno Turunen, joka oli kesästä 1971 lähtien Sodankylän geofysiikan observatorion ionosfääriaseman hoitaja. Nurmijärven observatoriossa aloitti hieman myöhemmin samanniminen ja samannäköinen, mutta ei suinkaan identtinen luotain. Se oli käytössä, kunnes mittaukset siellä lopetettiin. Tässä oli muutama sellainen muutos kuin Sodankylän laitteessakin, mutta ei kaikkia. Uppsalaa asennettiin teollisuuden tekemä versio tästä luotaimesta ja mahdollisesti yksi toimitettiin Intiaan.

Vasta kun IS-14 tuli käyttöön Sodankylässä, voitiin vanha putkitekniikkaa käyttänyt Sodankylän ensimmäinen ionosfääriluotain poistaa lopultakin käytöstä ja varastoida. Se oli ollut Sodankylässä jatkuvassa mittaustehtävässä noin 20 vuotta, mutta sen aikaisempaa historiaa ei varmuudella tiedetä. Sen seuraaja IS-14 mittasi sitten Sodankylässä jatkuvasti noin 27 vuotta.

Sodankylässä oli vuosituhannen vaihteessa ja sen jälkeen virinnyt suunnitelmia toteuttaa uusi ionosfääriluotain, mutta varsinaisesti uuteen toteutukseen päätyneet työt alkoivat vuoden 2003 aikana. Marraskuussa vuonna 2005 Sodankylän geofysiikan observatorio ottikin käyttöönsä historiansa kolmannen ionosfääriluotaimen. IS-14 oli silloin ollut jo jonkin aikaa vaikeuksissa, eikä kaikkia siinä olevia komponentteja voinut enää edes saada. Lisäksi observatorion silloinen johtaja Tauno Turunen oli palannut vuoden 2003 alussa sironatutkamittauksia tekevän EISCAT järjestön johtajan tehtävistä ja tunti kiinnostusta suunnitella Sodankylän geofysiikan observatoriolle uusi ionosfääriluotain. Tämä toteutuikin ja se tehtiin kokonaan Sodankylän geofysiikan observatorion laboratoriossa ja observatorion omin voimin sekä osittain työllisyysvaroin.

Tämä uusi, edelleen käytössä oleva, luotain on täysin erilainen edeltäjiinsä verrattuna. Se ei lähetä pulsseja, vaan jatkuvaa lähetettä, jonka taajuus muuttuu lineaarisesti. Luotaimen lähtötaajuus on 500 kHz ja taajuus muuttuu lineaarisena pyyhkäisynä 500 kHz sekunnissa. Luotaus päättyy, kun taajuus on 16 MHz, joten luotaus kestää siis 31 sekuntia. Tällaisen tutkan lupamennettely vaatii kuitenkin, että tehoa ei lähetetä esimerkiksi erällä laiva- tai lentoliikenteen käyttämillä taajuuksilla, joten taajuuspyyhkäisyn aikana on hyvin lyhyitä hetkiä, jolloin teho on nolla. Se ei vaikuta mittaukseen.

Radioaaltoja heijastavasta kohteesta saatu kaiku on myös jatkuva signaali, mutta kaiun taajuus on ylöspäin muuttuvan lähetystaajuuden tapauksessa pienempi kuin juuri sillä hetkellä lähetettävä taajuus. Taajuuserosta voidaan laskea kuinka kauan on menneet aikaa lähetyksen ja



Esimerkki ionogrammista uusimmalla ionosondilla rekisteröitynä 17.8.2016. Vaaka-akseli ilmoittaa lähetetyn signaalin taajuuden (MHz) ja pystyakseli (näennäisen) korkeuden, mistä signaali on heijastunut takaisin. Vasemmalla punertavina kaariviivoina näkyvät ionosfäärin eri kerrosten heijastumat ja niiden monikerrat. Alimpana on E-kerros ja sen yläpuolella F-kerros. (Kuva: SGO)

havaitun kaiun vastaanoton välillä. Tämä tehdään tulostamalla vastaanotetun signaalin tehospektri sopivalla tavalla väripintakuvana, jossa spektripisteen teho ilmaistaan värillä. Pystyakseli on spektripisteen esittämän kaiun kohdalla verrannollinen kaiun taajuuden ja lähetystaajuuden eroon eli kaiun tuottavan kohteen etäisyys luotaimesta ja vaaka-akseli on lähetystaajuus. Jos ionosfääristä vastaanotettu ilmaistu signaali vahvistetaan ja syötetään sopivin järjestelyin kaiuttimeen, niin kuultava ääni on kuin suden ulvonta. Tätä luotainta alettiinkin kutsua epävirallisesti nimellä ”Alfa-susi”.

Menetelmän tehokkuus perustuu siihen, että lähete on jatkuva, eli luotausaika käytetään lähettimen kannalta mahdollisimman tehokkaasti hyväksi. Lisäksi lopullinen vastaanottimen kohinakaistaleveys on itse asiassa ionogrammin tuottamiseen tarvittavan spektrilaskennan taajuusresoluutio.

Alfa-susi ei siis tarvitse pulssimenetelmää käyttäneiden edeltäjiensä tapaista kilowattiluokan lähetystehoa, vaan sen normaali lähetinteho on vain noin 4 wattia. Täten sen aiheuttama häiriö ympäristölle on pieni, mikä on tärkeä ominaisuus lukuisia mittalaitteita sisältävässä observatorioympäristössä. Tämän tutkan lähinaapureihin kuuluvat mm. sirontatutkan vastaanotinasema, meteoritutka ja satelliitivastaanotinasema.

Menetelmä oli tunnettu ja siihen perustavia laitteitakin oli tehty jo vuosikymmeniä aikaisemmin, mutta ne olivat vanhan ajan tekniikalla toteutettuna hyvin kalliita, eikä niitä ole vielä kovin monessa paikassa käytössä. Alfa-sudella ei ole varsinaisesti mitään esikuvaa. Sen suunnittelija ole koskaan edes nähnyt tähän menetelmään perustuvaa luotainta tai lukenut minikään toteutetun tällaisen luotaimen teknistä kuvausta.

Lähetinantennina käytetään 64 metrin mastossa olevaa samaa rombi-antennia, jota myös

observatorion aikaisemmat ionosfääriluotaimet ovat käyttäneet.

Vastaanottimen antennin muodostaa kaikkiaan 20 horisontaalista magneettista komponenttia vastaanottavaa ortogonaalista silmukka-antenniparia, jotka on summattu vaihekoherentisti ja ilmaistaan kompleksisena signaalina, josta tuotetaan tietokoneella ionogrammit kompleksista spektrianalyysia käyttäen. Laskenta pystyy erottelemaan toisistaan myös kaiun oikea- ja vasenkätiset ympyräpolaroidut komponentit. Alfa-suden signaalidynamiikka on yli 100 dB.

Lähetin- ja vastaanotinlaitteistot ovat vajaan kilometrin etäisyydellä toisistaan ja ne ovat itse asiassa täysin riippumattomia laitteita, eivätkä ne kommunikoi keskenään. Ne toteuttavat omaa ohjelmaansa omissa GPS-satelliitteihin perustuvassa ajoitusjärjestelmässään ja satelliittipohjaiseen taajuusreferenssiin perustuvassa taajuussynteesissään ja ne voisivat sijaita vaikka tuhannen kilometrin päässä toisistaan ja toteuttaisivat sellaisenaan ns. viistoluotaimen.

Alfa-susi on yli 100-vuotiaan observatorion yli 50-vuotisen ionosfääriluotauksen historian tehokkain ionosfääriluotain. Luotain mittaa 31 sekuntia kestävä luotauksen rutiininomaisesti kerran minuutissa ja luotauksen nimellisaika on URSI:n sääntöjen mukaisesti silloin, kun luotustaajuus ylittää 3 MHz. Luotaus on ”ionogrammina” nähtävissä internetissä lähes välittömästi mittauksen jälkeen.

Ionosondimittausten vastuuhenkilöinä ovat Tauno Turusen jälkeen toimineet FT Esa Turunen (vuodet 1993–2009), FT Thomas Ulich (vuodet 2009–2011) ja dos. Alexander Kozlovsky (vuodesta 2012 alkaen).



Sodankylän geofysiikan observatorion ionosondin antennimastot. Keskimääräinen masto on 64 metriä korkea. (Kuva: Jyrki Manninen)



## 2.7

SIRONTATUTKA  
TÄHTELÄÄN

Juhani Oksman

Ionosfäärin elektroneista saatavaan eli epäkoherenttiin sirontaan perustuvan sirontatutkan avulla ionosfääristä saadaan paljon monipuolisempaa tietoa kuin ionosondilla (Gordon, 1958). Maailmassa oli 1960-luvun lopussa käytössä kuusi sirontatutkaa, mutta yksikään niistä ei sijainnut lähelläkään revontulialuetta. Niinpä URSI:n piirissä herätettiin vuonna 1969 ajatus sirontatutkan sijoittamisesta Fennoskandiaan. Aloitteen tekijänä oli prof. Bengt Hultqvist<sup>31</sup> Kiirunasta.

Järjestin teknillisen korkeakoulun professorin Martti Tiurin<sup>32</sup> kehotuksesta lokakuussa 1969 Ouluun hankkeen ensimmäinen suunnittelukokouksen. Siihen osallistuivat Tiurin ja minun lisäksi Eero Kataja ja Seppo Koivumaa Sodankylän geofysiikan observatoriosta, Bengt Hultqvist Kiirunan geofysiikan instituutista, Olav Holt Tromssan yliopistosta ja Arne Haug Tromssan revontuliobservatoriosta. Laadimme kokouksessa Hultqvistin perusteellisen selvityksen pohjalta ehdotuksen kolmen pohjoismaan yhteisin voimin rakennettavasta sirontatutkajärjestelmästä, jonka kolme asemaa sijoitettaisiin Fennoskandian pohjoisosaan.

Samaan aikaan Ranskassa ajettiin suunnitelmaa laivaan sijoitettavasta sirontatutkasta. Sillä olisi ollut se etu, että sitä olisi voitu helposti siirtää eri leveysasteille; monet kiinnostavat ionosfäärin ilmiöthän vaihtelevat pohjois–eteläsuunnassa.

Ranskalaiset saatiin kuitenkin mukaan pohjoismaiseen suunnitelmaan. Seuraava osallistuja

<sup>31</sup> Bengt Hultqvist (1927–) oli Kiirunan avaruustutkimuslaitoksen johtaja 1957–1994.

<sup>32</sup> Martti Tiuri (1925–2016) oli TKK:n radiotekniikan professori 1962–1989. Tiuri oli Suomen avaruustutkimuksen pioneereja.

oli Saksa. Nimenomaan Lindaussa sijaitseva Max-Planck-Institut für Aeronomie oli kiinnostunut uudesta ionosfäärin mittalaitteesta. Koossa oli siis jo viisi maata. Haluttiin vielä saada mukaan englantilaisetkin tutkijat, koska heillä oli omakohtaista kokemusta sirontatutkamenetelmästä. He lupasivatkin periaatteessa liittyä mukaan, jos saisivat rahoituksen järjestymään. Tämä ei ollut kohtuuton ehto, koska muidenkaan maiden tutkijoilla ei vielä ollut rahoituksesta mitään tietoa.

Nopeasti toisiaan seuranneissa tutkijain kokouksissa sovittiin kaavaillun mittausjärjestelmän tieteellisistä tavoitteista, järjestelmään kuuluvien asemien sijoittamisesta ja mittauksen teknisestä toteuttamisesta. Tutkijayhteisön laatima suunnitelma "A European Incoherent Facility in the Auroral Zone" valmistui vuonna 1971. Hanke sai suunnitelmassa Hultqvistin ehdotuksesta sanoista European Incoherent Scatter Facility nimen EISCAT (Oksman, 2011).

EISCAT-hankkeessa päästiin ratkaisevasti eteenpäin, kun vuonna 1973 Lontoossa perustettiin URSI:n aloitteesta kansainvälinen EISCAT Steering Committee. Sen tehtäväksi tuli laatia tarkennettu suunnitelma EISCAT-projektista ja sen kustannuksista sekä luonnostella sopimus asemaverkon rakentamisesta ja mittaustoiminnasta. Komitean jäseniksi valittiin sekä tiedehallinnon että tutkijakunnan edustaja kustakin osanottajamaasta. Suomen edustajiksi komiteaan nimettiin opetusneuvos Osmo Ranta opetusministeriöstä ja minut. Myöhemmin perustettuun EISCAT Working Groupiin, jonka tehtävänä oli suunnitella mittausjärjestelmän tekninen toteutus, valittiin Suomen edustajaksi silloinen maisteri Tauno Turunen Sodankylän geofysiikan observatoriosta.

EISCAT-suunnitelmaa eteenpäin vietäessä ei voitu unohtaa ulkopoliittikkaakaan. Koska oli tiin suunnittelemassa suuren mittauslaitteiston pystyttämistä lähelle Neuvostoliiton rajaa, sen tiedepiirejä haluttiin pitää selvillä hankkeesta ja sen edistymisestä. Neuvostoliiton osallistumistakin EISCAT:iin pidettiin kauan avoimena, ja muun muassa Sodankylässä järjestettiin vuonna 1979 neuvostoliittolaisten ja suomalaisten tutkijain tapaaminen tästä aiheesta. Eräänä mahdollisuutena oli yhden sirontatutka-aseman rakentaminen Ylä-Tuulomaan Kuolan niemimaalle, mutta tämä ei eri syistä toteutunut.

Pitkällisten neuvottelujen jälkeen päästiin yksimielisyyteen järjestelmän teknillisistä yksityiskohdista ja eri maiden rahoitusosuuksista. EISCAT:in asemaverkkoon suunniteltiin asemat Tromssaan, Kiirunaan ja Sodankylään ja näille kaksi eri taajuuksilla toimivaa mittausjärjestelmää. Ensimmäisessä, UHF-järjestelmässä, keskitaajuutena on 931 MHz, ja siihen kuuluvat Tromssassa olevan lähettimen lisäksi kaikilla asemilla olevat vastaanottimet. Toisen, VHF-järjestelmän, keskitaajuus on 224 MHz, ja sen lähetin ja vastaanotin sijaitsevat Tromssassa. UHF-järjestelmän täydellisesti suunnattavissa olevat antennit on varustettu 32-metrillä pyörähdysparaboloidiheijastimilla, ja sen lähettimen huipputeho on 1–2 MW; VHF-järjestelmä syöttää 1,5 MW:n huipputehon 4800 m<sup>2</sup> suuruisella sylinteriparaboloidiheijastimella varustettuun antenniin, jota voidaan suunnata meridiaanitasossa ja lisäksi syöttökaapeleita vaihtamalla jonkin verran sivusuunnassakin.



Kolme isoa maata, Saksa, Ranska ja Englanti, sitoutuivat maksamaan EISCAT:in investointikustannuksista neljänneksen kukin, ja loppuosa jaettiin Ruotsin, Norjan ja Suomen kesken suhteessa 2:2:1. Suomen maksettavaksi tuli siis vain 5 % osuus.

EISCAT:in mittausjärjestelmää pyrittiin aluksi suunnittelemaan sillä periaatteella, että kukin osanottajamaa kustantaisi ja rakentaisi oman osansa siitä. Tämä periaate osoittautui kuitenkin epäkäytännölliseksi järjestelmän pääosien eli lähettimien ja antennien toteuttamisessa, joten isojen osanottajamaiden rahoitusosuudet päätettiin lopulta kerätä yhteen pottiin ja järjestää näistä pääosista tarjouskilpailut.

### EISCAT:in alkuaikojen hallinto

EISCAT-sopimus valmistui vuoden 1975 syksyllä. Siinä esitettiin, että kunkin osallistujamaan tutkimusta rahoittavat elimet (Suomen osalta Suomen Akatemia) perustaisivat mittausjärjestelmää toteuttamaan ja käyttämään Ruotsin lain mukaisen säätiön, nimeltään EISCAT Scientific Association. Sopimus saatiin allekirjoitetuksi kaikissa osanottajamaissa juuri ennen vuoden 1975 loppua. EISCAT:iin perustettiin sopimuksessa vuonna 1975 kolme hallintoelintä, nimittäin neuvosto (Council), tieteellinen komitea (Scientific Advisory Committee SAC) sekä hallinto- ja talouskomitea (Administrative and Finance Committee AFC).

EISCAT:in korkeimman päättävän elimen neuvoston jäsenenä on eri maiden tiedehallinnon edustajia. Ensimmäiset Suomen edustajat siinä olivat opetusneuvos Osmo Ranta opetusministeriöstä ja professori Antti Siivola Suomen Akatemiasta. SAC valmisteli alkuvaiheessa asemaverkon rakentamista ja mittaustoimintaa koskevia asioita; minusta tuli sen ensimmäinen suomalainen edustaja. AFC valmisteli ja valvoi pääasiassa EISCAT:in varojenkäyttöä; Suomea siinä edusti ensimmäisenä Osmo Ranta.

EISCAT:illa on johtaja, ja hänellä on alaisinaan kaksi apulaisjohtajaa ja joukko Kiirunan päämajaan ja eri asemille sijoitettua muuta henkilökuntaa. Ensimmäisenä johtajana toimi prof. Tor Hagfors Norjasta ja ensimmäisinä apulaisjohtajina Svante Westerlund Ruotsista ja Kristen Folkestad Norjasta.

### EISCAT:in toteuttaminen

Hankkeen avajaiskokous pidettiin Kiirunassa 20.1.1976, ja tämän jälkeen päästiin tehtyjä suunnitelmia toteuttamaan. Asiassa oli kuitenkin vielä monta mutkaa ja useiden vuosien viivästy, ennen kuin mittaukset päästiin aloittamaan.

Tarjouskilpailujen jälkeen EISCAT:in molemmat lähettimet tilattiin USA:sta Aydinilta,

UHF-antennit kanadalaiselta Toronto Iron Worksilta ja VHF-antenni saksalaiselta MAN/Krupp/MBB:ltä. Tietokoneet, tyypiltään Nord 10, tilattiin Norjasta, ja norjalaiset rakensivat myös vastaanottimien korrelaattorit ja tutkaohjaimet. Itse vastaanottimet koottiin valmiista lohkoista Kiirunassa, lukuun ottamatta eräitä niiden tärkeitä osia, jotka valmistettiin Suomessa. Niitä olivat Pentti Leppäsen johdolla Oulun yliopiston tietoliikennelaboratoriossa valmistetut laitteet analogisen signaalin muuttamiseen digitaaliseen muotoon ja Barker-pulsikoodatun signaalin dekodaukseen, Kalevi Kalliomäen mittaustekniikan laboratoriossa rakentamat ajan tarkistamiseen tarvittavat VLF-vastaanottimet ja Tauno Turusen Sodankylässä rakentamat vastaanottimien tasavirtavahvistimet.

Kukin Pohjoismaista sai rakentaakseen omat asemarakennuksensa. Tromssaan tuli suurin niistä, koska siihen oli sijoitettava isot lähettimet. Kiirunaan rakennettiin UHF-vastaanottimelle Tähtelän ionosfääriaseman kokoinen rakennus. Sain tästä ajatuksen esittää, että Sodankylän UHF-vastaanotin sijoitettaisiin ionosfääriasemalle, jossa oli Lindaun viistoluotausten loppumisen ansiosta vapaata tilaa. Esitykseni hyväksyttiin, ja tämä tiesi ratkaisevan suurta, noin miljoonan silloisen markan (715 000 euron) kevennystä Suomen rahoitusosuuteen. Aikoinaan halvalla, osaksi talkoilla rakennettu ionosfääriasema koki mahtavan arvonnousun.

Sodankylään toimitettiin ensimmäisenä EISCAT:in laitteiston osana vuonna 1977 Nord 10 -tietokone. Seuraavana vuonna lähelle asemarakennusta pystytettiin UHF-antenni. Se sijoitettiin pystyrombien keskimaston paikalle, mistä syystä koko pystyantenni jouduttiin siirtämään toiseen paikkaan. Vuonna 1980 Sodankylään saatiin ruotsalaisten kokoama vastaanotin ja lopulta vuonna 1981 norjalaisten monien vaikeuksien jälkeen valmiiksi saama korrelaattori.

Alun perin oli tähdätty EISCAT:in valmistumiseen ennen vuonna 1976 alkanutta kansainvälistä magnetosfäärin tutkimusvuotta (IMS, International Magnetospheric Study). Aikataulu petti kuitenkin pahasti, suurimmaksi osaksi tutkalaitteiston lähetinputkien rakentamisessa syntyneiden vaikeuksien takia. Lopulta ensimmäiset mittaukset UHF-järjestelmällä päästiin tekemään heinäkuun alussa 1981, joten EISCAT:in juhlalliset vihkiäiset voitiin järjestää elokuun 28. päivänä. Ruotsin kuningas painoi Kiirunassa EISCAT:in käynnistysnappia.

### EISCAT:in Suomen henkilökunta

Olin ollut alusta alkaen kiinteästi mukana EISCAT-hankkeessa. Tulin vuonna 1975 valituksi Suomen edustajaksi SAC:iin ja seuraavana vuonna sen varapuheenjohtajaksi. 1.9.1978 sain nimityksen Suomen Akatemian EISCAT-tutkimusprofessoriksi viisivuotiskaudeksi. Koin päätehtäväkseni huolehtia suomalaisten tutkijoiden valmentamisesta sirontatutkamittausten käyttämiseen. Tämä tiesi kiinteän yhteyden pitämistä Sodankylän asemaan ja sen henkilökuntaan.

Sodankylään palkattiin vuonna 1977 asemanhoitajaksi Oulun yliopiston sähköinsinööri-

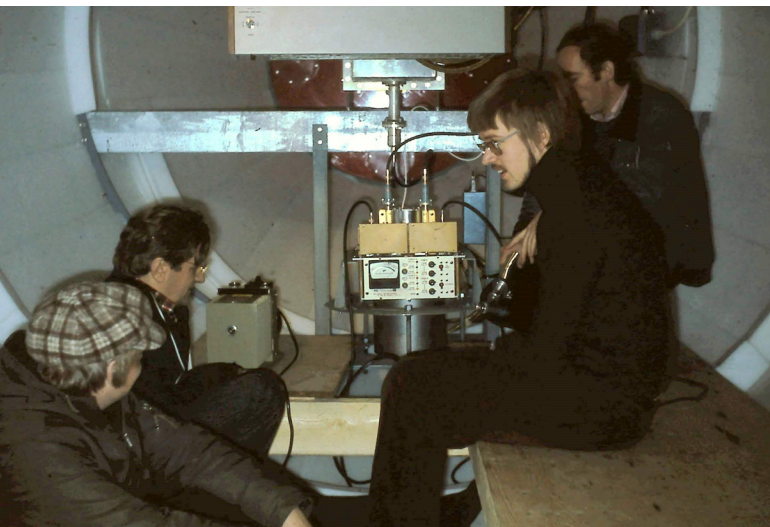
osastolta valmistunut DI Tapani Äijänen, ohjelmoijaksi Anna-Liisa Turunen (nyk. Piippo) sekä teknikoiksi Tarmo Mustonen ja Tarmo Laakso. He nousivat erinomaisen työpanoksensa ansiosta EISCAT:issa suureen maineeseen. Tarmo Mustonen sai paikallisten tehtävien lisäksi erityistehtävään huolehtia kaikkien kolmen aseman UHF-antennien kunnosta.

Alun perin EISCAT:ille ei ollut suunniteltu Sodankylään ollenkaan tieteellistä henkilökuntaa. Esitin siksi, että EISCAT maksaisi kompensationsa yhden Tähtelässä ja yhden Oulun yliopistossa toimivan tutkijan palkan. Tämä esitys johti siihen, että Sodankylän asemalle perustettiin vuonna 1978 kaksi uutta tutkijan tointa ja niihin palkattiin Markku Lehtinen ja Johan Silén. Tämä oli tietysti suuri voitto Tähtelälle mutta on osoittautunut lottovoitoksi myös koko EISCAT:ille. Sen laitteiston suorituskyky on näet Tauno Turusen uusien tutkijain kanssa kehittämien uusien mittausalgoritmien ansiosta noussut aivan uudelle tasolle.

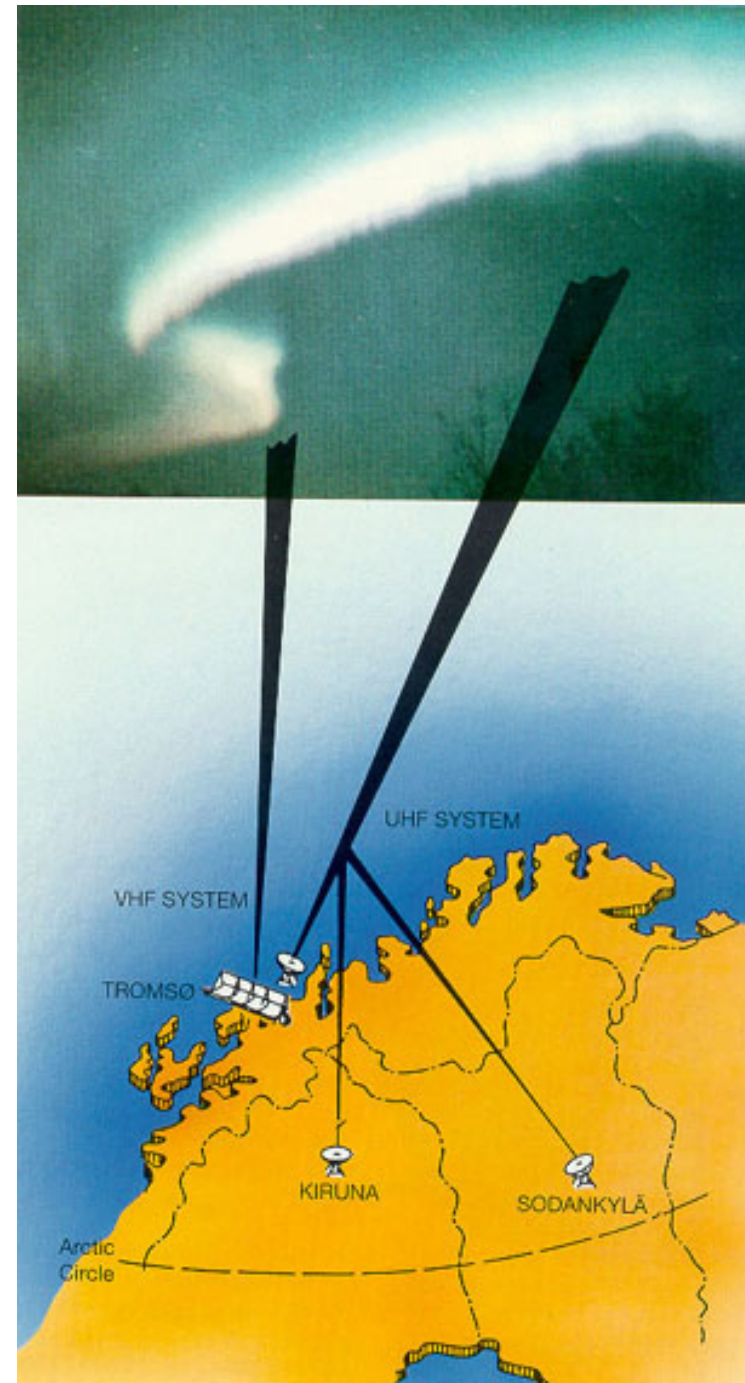
Sopimuksen mukaan EISCAT lupasi korvata Suomelle Sodankylän aseman käytöstä aiheutuvat kustannukset, henkilökunnan palkat mukaan lukien, vieläpä yleiskustannuslisineen. Suomi pääsi tämän ansiosta EISCAT:issa selvästi nettosaajan asemaan. Samalla observatorion rahoitukseen tuli tervetullut lisäys.

Suomi on saanut pientä maksuosuuttaan vastaavasti käyttää osanottajamaista vähiten EISCAT:in mittausaikaa. Tästä huolimatta suomalaiset tutkijat ovat saaneet EISCAT:illa merkittäviä tuloksia.

Tutkijaprofessorikauteni päätyttyä vuonna 1983 luovuin EISCAT-siteistäni keskittyäkseni leipätyöhöni Oulun yliopiston sähkötekniikan professorina.



Sodankylän EISCAT-henkilökuntaa UHF-antennin esivahvistinkopissa. Vasemmalta Tauno Turunen, Tarmo Mustonen, Tauno Äijänen ja Tarmo Laakso. (Kuva: Juhani Oksman)



Toiminnan alkuaikojen EISCAT-järjestelmä kaavamaisesti. Tutka-asemat olivat Tromsassa, Kiirunassa ja Sodankylässä. (Kuva: EISCAT)

Sodankylän 32-metrinen EISCAT-antenni. (Kuva: Oulun yliopisto)

# 2.8

## MIKROPULSAATIO- TUTKIMUKSEN VAIHEITA

Jorma Kangas ja Tero Raita

Maan magneettikentässä havaitaan kestoaltaan eripituisia vaihteluita, jotka ovat usein hyvin säännöllisiä. Kun vaihteluiden periodi on 0,2 s - 600 s, niitä kutsutaan geomagneettisiksi pulsaatioiksi tai mikropulsaatioiksi. Vasta toisen kansainvälisen polaarivuoden (SIPY, Second International Polar Year) aikana vuosina 1932–1933 otettiin käyttöön mittauslaitteita, joilla voitiin havaita pulsaatioita, joiden periodi on pienempi kuin 20 sekuntia.

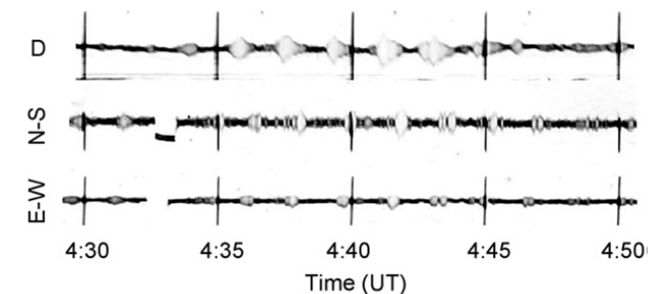
Suomessa magneettisia rekisteröintejä on tehty 1840-luvulta lähtien. Sodankylän magneettinen observatorio aloitti toimintansa vuonna 1913. Varsinaiset mikropulsaatiotutkimukset käynnistyivät toisen polaarivuoden aikana, jolloin Sodankylässä tehtiin havaintoja, jotka ovat osoittautuneet alan tutkimuksen kehityksen kannalta merkityksellisiksi.

### Mikropulsaatiotutkimuksen alkuvaiheet

Toisen polaarivuoden aikana Sodankylään sijoitettiin niin sanottu La Cour -magnetometri, jonka uudenlaisen nopean rekisteröintilaitteen avulla voitiin ensimmäisen kerran rekisteröidä magneettikentän pieniä ja nopeita pulsaatioita, joiden periodi oli sekunnin luokkaa eli niin sanottuja Pc1-pulsaatioita. Samaan aikaan aloitettiin Sodankylässä myös maavirtojen mittaukset, joiden nopeissa rekisteröinneissä Pc1-pulsaatiot myös näkyivät. Ilmiön löytäjä, observatorion johtaja Eyvind Sucksdorff antoi pulsaatioille nimen "helmiäiset".

Sucksdorff julkaisi tuloksensa vuonna 1936 *Terrestrial Magnetism and Atmospheric*

Historiallisia rekisteröintejä Sodankylän magneettisessa observatoriossa 6.2.1935. Kuvassa näkyy geomagneettisten Pc1-pulsaatioiden aiheuttamia helminauhakuvioita magnetometrin (D) ja maavirtalaitteen (N-S, E-W) rekisteröinneissä. (Kuva: Eyvind Sucksdorff, 1936)



*Electricity* -lehdessä (Sucksdorff, 1936). Samalla kun Sucksdorff näin julkaisi ensimmäiset Pc1-helmiäispulsaatioiden havainnot, hän esitti vuosien 1932–1935 havaintoaineiston perusteella monia pulsaatioilmiöiden esiintymisen yleisiä tilastollisia ominaisuuksia, jotka pitävät edelleen paikkansa. Kaunis nimi, helmiäispulsaatiot on vakiintunut alan suomalaisten tutkijoiden kielenkäyttöön.

Tromssan revontuliobservatorion johtaja Leiv Harang julkaisi vastaavia havaintoja samassa lehdessä (Harang, 1936). Hän kutsui vaihteluita ”vibraatioiksi”. On ilmeistä, että Sucksdorff ja Harang tekivät löytönsä toisistaan riippumatta, ja heidän nimiinsä liittyvät aihepiirin tutkimuksen ensimmäiset vaiheet. Esimerkiksi Mursula et al. (1994) ja Raita ja Kultima (2007) ovat kirjoittaneet näistä historiallisista havainnoista.

Eyvind Sucksdorff tutki myös hitaampia magneettikentän vaihteluita eli ns. jättiläispulsaatioita (Sucksdorff, 1939), joiden periodi oli noin 80 sekuntia. Hän havaitsi niitä normaaleissa magneettisissa rekisteröinneissä ja ulotti tutkimuksensa vuosiin 1914–1938. Nämäkin tulokset ansaitsevat tulla mainituksi Sodankylän geofysiikan observatorion alkuvaiheen mikropulsaatiotutkimuksen saavutuksina.

Sucksdorff ei jatkanut voimallisesti aloittamia pulsaatiotutkimuksia. Polaarivuoden aikana käynnistyneitä mittauksia kuitenkin jatkettiin, ja ne ovat edelleen arvokas aineisto tutkimuksen käyttöön. Eyvind Sucksdorff loi vankan pohjan suomalaiselle mikropulsaatiotutkimukselle.

### Mittaustoiminnan myöhempi kehitys

La Cour -magnetometri- ja maavirtamittaukset jatkuivat Sodankylässä, mutta ne katkesivat vuonna 1944 Lapin sodan aikana. Sucksdorffin käyttämä magnetometri tuhoutui, ja uusi nopea rekisteröintilaitte saatiin käyttöön vasta vuonna 1953. La Cour-magnetometrin nopeat rekisteröinnit



jatkuivat sen jälkeen vuoteen 1983 asti. Maavirtarekisteröinnit ovat jatkuneet vuoteen 1992 asti.

Professori Victor P. Hessler (1903–1999) Alaskan yliopistosta vieraili Suomessa vuonna 1960 ja kiinnostui täällä tehdystä tutkimuksesta. Hän sijoitti nykyaikaiset induktiomagnetometrit Sodankylään ja Ilmatieteen laitoksen Nurmijärven observatorioon myöhemmin vuonna 1963. Samalla myös rekisteröintijärjestelmiä uusittiin.

Sodankylä on edullinen paikka revontulialueen tutkimusten kannalta, ja monet tutkijat ovat halunneet sijoittaa laitteitaan observatorioon sen henkilökunnan hoidettaviksi. Hans Voelker Göttingenin yliopistosta asensi ns. Grenet-variometrin Sodankylään vuonna 1964. Nämä laitteet soveltuivat erityisesti pitkäjaksoisten mikropulsaatioiden mittauksiin. Grenet-rekisteröinnit päättyivät vuonna 1992. Wallace H. Campbell Boulderista (USA) toi myös oman induktiomagnetometrinsä Sodankylään, ja jatkuvat mittaukset käynnistettiin vuonna 1970. Mittaukset lopetettiin vuonna 1983.

Professori Hessler vieraili Oulun yliopistossa vuonna 1969. Samana vuonna järjestettiin tutkijatapaaminen Wetterkullan kartanossa Eräjärvellä, jossa Hesslerin kanssa sovittiin alustavasti tutkimusyhteistyöstä. Keskusteluja jatkettiin toisessa symposiumissa vuonna 1971. Mikropulsaatioiden rekisteröinnin aloittaminen Oulussa asetettiin tavoitteeksi ja jatkuvat mittaukset aloitettiin vuonna 1974 laitekehittelyn ja testausten jälkeen.

Mikropulsaatioiden tutkimuksen kehittämistä keskusteltiin useilla Geofysiikan observatoriopäivillä, joita järjestettiin 1970–1990-luvuilla. Mittausasemien verkkoa laajennettiin, ja esimerkiksi kansainvälisen IMS-projektin (International Magnetospheric Study) aikana vuosina



Mikropulsaatiosymposiumi Wetterkullan kartanossa syksyllä 1971. Vasemmalta oikealle: Jorma Kangas (Oulun yliopisto), Matti Kivinen (Ilmatieteen laitos, Nurmijärven observatorio), Victor Hessler (University of Alaska), Christian Sucksdorff (Ilmatieteen laitos), Eero Kataja (Sodankylän geofysiikan observatorio) ja Lauri Lukkari (Oulun yliopisto). (KUVA: Christian Sucksdorff)

1977–1979 Suomessa oli viisi mittausasemaa. Nämä asemat täydensivät saksalaisen Münsterin yliopiston Pohjois-Skandinaviaan pystyttämää yli 30 magnetometrin verkostoa mittaamalla geomagneettisten vaihteluiden spektrin korkeataajuisia osaa.

Ruotsalaisen Viking-satelliittiohjelmaan liittyen rekisteröinnit uusittiin vuosina 1984–1985 yhteistyössä Göttingenin yliopiston geofysiikan laitoksen kanssa ja digitaaliseen rekisteröintiin siirryttiin vuonna 1994. Eräiden satelliitti- ja EISCAT-mittauskampanjoiden aikana on pystytetty väliaikaisia asemia. Parhaimmillaan toiminnassa on ollut jopa yhdeksän asemaa. Asemaverkko sai mielenkiintoisen lisäyksen vuosiksi 1999–2005, jolloin Tilmann Bössingerin aktiivisuuden ansiosta pulsaatiomittauksia tehtiin Kreetan saarella yhteistyössä Kreetan yliopiston kanssa (Bössinger et al., 2002).

Laitteistoja on kehitetty edelleen Sodankylän geofysiikan observatorion ja Oulun yliopiston fysiikan laitoksen tutkijoiden yhteistyönä ja uudet pulsaatiomagnetometrit otettiin käyttöön vuosina 2002–2003. Asemaverkkoa laajennettiin Huippuvuorille vuonna 2005. Tällä hetkellä Sodankylän geofysiikan observatorio ylläpitää nykyaikaisia pulsaatiorekisteröintejä Sodankylässä, Oulussa, Nurmijärvellä, Rovaniemellä, Ivalossa ja Kilpisjärvellä. Asemaverkon digitaalinen, GPS-ajoitettu mittausaineisto vuodesta 1995 alkaen on ainutlaatuinen maailmassa.

## Tutkimusyhteistyö

Eyvind Sucksdorffin tutkimukset 1930-luvulla eivät aikanaan herättäneet laajaa huomiota. Mutta kun ruotsalainen Hannes Alfvén esitti hydromagneettisten aaltojen teoriansa 1940-luvulla, kiinnostus mikropulsaatioihin alkoi kasvaa. Oivallettiin, että sijoittamalla mittausasemia mielekkäällä tavalla pulsaatioiden avulla voidaan saada tärkeää informaatiota maapallon lähiavaruudesta. Tällainen mittaustoiminta käynnistettiin kansainvälisen geofysiikan vuoden (IGY, International Geophysical Year) 1957–1958 aikana, jolloin käyttöön saatiin myös uutta mittaustekniikkaa.

Wetterkullan mikropulsaatiosymposiumit käynnistivät uuden vaiheen suomalaisessa tutkimuksessa, johon osallistui Oulun yliopiston, Sodankylän geofysiikan observatorion ja Ilmatieteen laitoksen tutkijoita. Tutkimusyhteistyö alkoi luonnollisesti professori Hesslerin ja Alaskan yliopiston kanssa. Kun Hessler siirtyi eläkkeelle vuonna 1970, yhteistyö jatkui hänen kollegansa, Richard Heacockin (1926–2010) kanssa. Yhteistyötä tehtiin myöhemmin Heacockin seuraajan, John Olsonin kanssa.

Professori Hesslerin ansiosta yhteistyö neuvostoliittolaisten tutkijoiden kanssa alkoi 1970-luvulla. Neuvostoliittoon oli syntynyt 1960-luvulla vahva mikropulsaatioiden tutkimusryhmä professori Valerie Troitskayan (1917–2010), Hesslerin läheisen kollegan johdolla. Hän oli Moskovassa toimivan Neuvostoliiton tiedeakatemian Maan fysiikan instituutin johtavia tutkijoita. Suomalais-neuvostoliittolainen yhteistyö voimistui suuresti 1970- ja 1980-luvuilla Suomen ja Neuvosto-

liiton välisen teknis-tieteellisen yhteistyöohjelman tuloksena.

Kun aloimme perehtyä aihepiiriin 1970-luvun alussa, Hessler ja Troitskaya kutsuivat meidät mukaan valmistelemaan laajaa raporttia *Polar Micropulsations* (Polar Micropulsations, edited by V.P. Hessler and V.A. Troitskaya. University of Alaska Scientific Report UAG R-220, May 1972). Tehtävämme tuli laatia yhteenvedo siihenastisista revontulien ja röntgensäteilyn pulsaatioiden

sekä magnetosfäärin häiriön eli niin sanotun alimyrskyn tutkimuksista. Aloitimme siis mikropulsaatioiden tutkimuksen kahden alan arvostetun tutkijan opastuksella.

Yhteistutkimusten tärkeimmät kohteet olivat pitkään magneettikentän nopeat vaihtelut eli noin 0,1–1 Hz:n taajuusalueella havaittavat Pc1-pulsaatiot sekä niin sanotut IPDP-pulsaatiot (Intervals of Pulsations with Decreasing Period) ja epäsäännölliset Pi1-pulsaatiot (Irregular Pulsations, periodi 1–40 s), jotka esiintyvät alimyrskyn yhteydessä. Troitskaya tunnisti ensimmäisenä IPDP-tyyppiset pulsaatiot vuonna 1959 (Troitskaya and Melnikova, 1959).

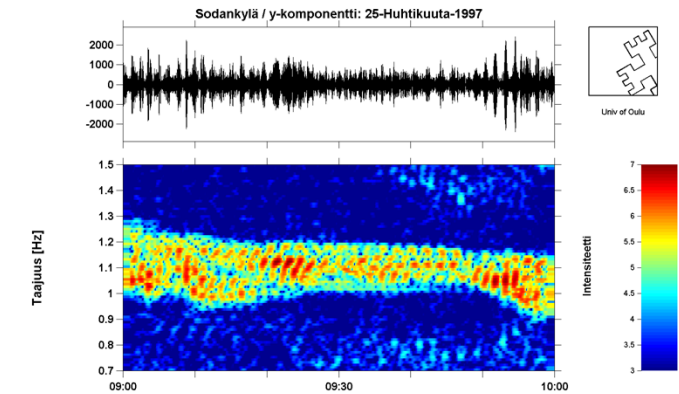
Helmiäispulsaatiot ja IPDP-pulsaatiot olivat pitkään sekä Hesslerin että Troitskayan mielenkiinnon kohteena. Uusien ja monipuolisempien havaintoaineistojen avulla näitä ilmiöitä on voitu tutkia entistä paremmin. Kerättyjen pitkien havaintosarjojen perusteella on saatu tarkempi kuva muun muassa pulsaatioiden esiintymisestä aurinkosyklin aikana ja pulsaatioiden lähdealueen liikkeistä.

Loppuhuipennuksena tälle tutkimusaktiivisuudelle järjestimme venäläisen kollegamme, professori Anatoly Guglielmin aloitteesta kokouksen Pc1 Pearl Waves. Discovery, Morphology and Physics Euroopan geotieteiden unionin (EGU) yleiskokouksen yhteydessä Wienissä 2.–7.4. 2006. Kokous pidettiin sen kunniaksi, että oli kulunut 70 vuotta Eyvind Sucksdorffin artikkelin ilmestymisestä. Esitelmät julkaistiin *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* -lehden erikoisnumerossa Vol. 69, Issue 14, 2007 (editors J. Kangas, B. Fraser and A. Potapov).



Valerie Troitskaya-Cole (1917–2010) oli kansainvälisen mikropulsaatiotutkimuksen uranuurtaja 1950-luvulta lähtien. Hän oli Neuvostoliiton Tiedekatemian Maan fysiikan laitoksen osastonjohtaja 1960–1989, jonka jälkeen hän emigroitui Australiaan.

Esimerkki helmiäispulsaatioiden spektristä Oulun yliopiston pulsaatiomagnetometriin rekisteröinnistä vuodelta 1997. (Kuva: Jorma Kangas)



Uusi näkökulma edellä kuvattujen pulsaatioiden tutkimuksiin avautui, kun tutustuimme 1980-luvulla neuvostoliittolaisen professori Victor Trakhtengertsin (1939–2007) (Nižni Novgorod) tutkimuksiin. Hänen ryhmänsä oli selvittänyt laajasti ionosfäärin vaikutuksia pulsaatioihin ja ionosfäärin resonaattoriominaisuuksia. Myöhemmin 1990-luvulla saimme käyttööme tsekkiläisen Karel Priknerin (1937–2010) kehittämän menetelmän määrittää ionosfäärin resonaattorin ominaisuuksia. Tästä alkoi monipuolinen yhteistyö suomalaisten, venäläisten ja tsekkiläisten tutkijoiden kesken, joka on jatkunut viime vuosiin asti. Tutkimuksessa on käytetty EISCAT-tutkan mittauksia sovellettaessa Priknerin menetelmää. Aiheesta järjestettiin kansainvälinen seminaari Sodankylässä 25.–28.5.1998. Siihen kutsuttiin alan tärkeimmät tutkijat ja esitelmät julkaistiin *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* -lehden erikoisnumerossa Vol. 62, Number 4, 2000 (editors J. Kangas and V. Trakhtengerts).

Mikropulsaatioiden mittaussaineiston käyttäjiksi on tullut jatkuvasti uusia tutkimusryhmiä. Esimerkiksi satelliittimittaukset tarvitsevat usein tuekseen maan pinnalla tehtyjä havaintoja. Venäläiset ovat olleet pitkään suurin ryhmä, erityisesti Valerie Troitskayan oppilaat ja seuraajat sekä Apatityn polaari-instituutin (PGI, Polar Geophysical Institute) tutkijat. Suomalaiset ovat pääosin rahoittaneet tätä yhteistyötä. 1990-luvulla saimme arvokasta tukea EU:n INTAS (International Association for the Promotion of Cooperation with the scientists from the New Independent States of the former Soviet Union) -rahoitusjärjestelmästä.

Nämä muutammat esimerkit osoittavat, että suomalainen mikropulsaatioiden havainto-asetukset on ollut ja on edelleen kansainvälisestäkin kiinnostava. Olemme päässeet mukaan ohjelmiin, jotka ovat laajentaneet suomalaista magnetosfäärin tutkimusta mielekkäällä tavalla. Samalla olemme jatkaneet 1930-luvulla alkanutta tutkimusperinnettä. Sodankylän geofysiikan observatorion tärkeä tehtävä on ollut mittaussasemien ylläpito, datan taltiointi ja jakelu tutkijoille sekä mittaustekniikan ja datankäsittelymenetelmien kehittäminen. Mikropulsaatioiden tutkimus on samalla vahvistunut monien ulkomaisten tutkijoiden vieraillessa observatoriossa.

# 2.9

## SEISMISET HAVAINNOT SODANKYLÄSSÄ JA OULUSSA

Elena Kozlovskaya ja Eero Kataja<sup>33</sup>

### Mittausten alkuvaiheet

Observatoriotoimikunnassa oli alkuvuodesta 1954 herätetty ajatus seismisen aseman perustamisesta Sodankylän observatorioon. Aloitteen tekijä oli Helsingin yliopiston seismisen aseman<sup>34</sup> hoitaja Eijo Vesanen (1912–2005). Hänen suunnitelmissaan oli perustaa seismografiasemia muualle Suomeen yliopiston fysiikan laitoksessa toimivan laitteistojen lisäksi. Observatoriotoimikunnan puheenjohtaja Jaakko Keränen alkoi toteuttaa ehdotusta. Hän lähestyi Uppsalan yliopiston seismologian osaston johtajaa Markus Båthia (1916–2000) ja pyysi tältä asiantuntijalausuntoa seismometriverkon laajentamisesta Suomessa. Båth kannusti hanketta ja antoi ohjeita aseman perustamisesta ja instrumentoinnista.

Suunnitelma eteni nopeasti ja ensimmäinen kokeiluseismometri oli valmiina jo kesällä 1954. Laite asennettiin erääseen Sodankylän observatorion vajarakennukseen. Kyseinen rekisteröintilaitte oli lainassa Helsingin yliopiston fysiikan laitokselta. Laite oli koekäytössä vuoden 1954 loppuun. Havaintotulokset olivat tyydyttäviä, vaikka rakennuksen kosteuden ja lämpötilan

<sup>33</sup> Tämän kirjoituksen alkuosa vuoteen 1997 perustuu Eero Katajan (1927–2014) laatimaan keskeneräiseen käsikirjoitukseen, joka on tässä uudelleen toimitettuna. Seismisten mittausten historiasta Oulun yliopistossa ja Sodankylän observatoriossa, ks. Kozlovskaya et al. (2016).

<sup>34</sup> Seismisestä asemasta tehtiin Helsingin yliopiston seismologian laitos vuonna 1960. Sen johdossa toimi Vesanen 1960–1975. Laitos on nykyään Helsingin yliopiston geotieteiden ja maantieteen laitoksen seismologian instituutti. Suomessa tehdyistä seismologisista tutkimuksista ovat kirjoittaneet Luosto and Hyvönen (2001).

vaihtelut häirtasivat rekisteröintejä. Seuraavana vuonna seismometrille rakennettiin betonipilari ja laitteita saatiin lisää. Kun seismiset rekisteröinnit tehtiin herkällä Benioffin seismometrillä, paljastui yllättävä tekijä, kun laite rekisteröi luonnollisten seismisten värähtelyjen ohella myös seismimetrin läheisyydessä astutut askeleet ja muut häiriöt. Silloin heräsi epäily siitä, onko observatorion alue lainkaan sopiva seismisille mittauksille, jos paikalliset häiriöt häiritsevät rekisteröintejä.

Kesällä 1956 Mauno Porkka (1927–) Oulun yliopiston geofysiikan laitokselta teki observatorion alueen maaperäkartoituksen. Silloin kävi ilmi, että observatorio, joka sijaitsi Kitisenjoen rantamaastossa, on sopimaton seismisen aseman paikaksi. Alue sijaitsi ainakin 50 metrin paksuisen hiekkakerrostuman päällä, joten myös paikalliset tekijät aiheuttivat häiriöitä seismisiin rekisteröinteihin. Maaperätutkimusten mukaan peruskallio on paljon lähempänä maanpintaa noin 300 metrin päässä joen rannasta ja hiekkakerros siellä muodostuu karkearakeisesta sorasta, joten paikka olisi siten sopivampi seismisiin mittauksiin.

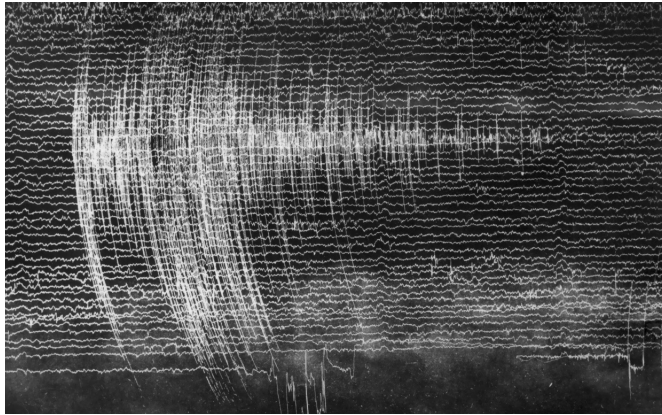
Keväällä 1957 tutkitulle paikalle rakennettiin seismisiä instrumentteja varten lämpöeristetty suojarakennus ja varsinaiset seismometrit asetettiin betonipilareille, jotka oli kaivettu liki kolme metriä maan sisään. Rakennukseen sijoitettiin kolme seismometriä, joista kaksi oli suomalaisen Matti Nurmian (1930–) suunnittelema laitteita (Nurmia, 1960). Aseman toiminta alkoi heinäkuussa 1957 osana kansainvälisen geofysiikan vuoden (1957–1958) havainto-ohjelmaa. Rekisteröinnit taltioituivat valokuvapaperille, joka oli kierretty hitaasti pyörivien sylinterien ympärille. Rekisteröintipaperit vaihdettiin kerran vuorokaudessa ja seismogrammit lähetettiin Helsinkiin seismologian laitokselle tarkempaa analyysiä varten. Näin Sodankylän seisminen asema toimi vain Helsingin yliopiston apuasemana. Yhdessä muualta saatujen havaintojen kanssa Sodankylän seismisten rekisteröintien avulla voitiin paikantaa seismisten tapahtumien sijaintia ja seismisten aaltojen kulkunopeuksia. Nurmia-seismometriä käyttäminen päättyi vuonna 1966.

### Ydinräjäytyksien aika – seisminen asema vakinaistetaan

Geofysiikan vuoden jälkeen vuonna 1959 seismisen aseman toiminta ja seismogrammien esianaalyysi jäi enemmän Sodankylän omalle vastuulle. Grammeista määritettiin järjestyksien seismisten *P*- ja *S*-aaltojen<sup>35</sup> saapumisnopeudet. Tiedot välitettiin puhelimitse Helsinkiin. Tehtävään oli koulutettu FK Airi Kataja (1926–), joka oli tullut vuoden 1959 alusta observatorion palvelukseen ja seismisen aseman hoitajaksi. Seismogrammien päivittäinen analyysi vei aikaa hyvin vaihtelevasti, mutta maailmalla tapahtuneiden suurten maanjäristysten jälki seismogrammeissa

<sup>35</sup> *P*-aalto (Primary wave) on seismisen aallon värähtelyä pitkin aallon etenemissuuntaa. *S*-aalto (Secondary wave) on aaltoliikettä kohtisuorassa aallon etenemissuunnan suhteen. *P*-aalto näkyy seismogrammissa ennen *S*-aalloa. *P*-aallon etenemisnopeus kallioperässä on noin 5 km/s.





Oulun Myllytullin asemalla rekisteröity seismogrammi Sallan Hautajärvellä 20.2.1960 tapahtuneesta maanjäristyksestä. (Kuva: Heikki Korhonen)

aiheutti paljon tulkintatyötä. Esimerkiksi Alaskan rannikolla pääsiäisenä vuonna 1964 sattunut järjestysrypäs, jossa oli satoja erillisiä seismisiä impulsseja, työllisti seismogrammien analyysoijia usean päivän ajan. Kyseessä oli Pohjois-Amerikan siihen asti voimakkain maanjäristys, voimakkuudeltaan 9,2 Richterin asteikolla.

Vuonna 1959 seismologista asemaa täydennettiin mikrobarografilla<sup>36</sup>. Laite rekisteröi herkästi ilmakehässä tapahtuneiden ydinräjäytysten aiheuttamat paineaallot. Vastaavanlainen laite oli toiminnassa Ilmatieteen laitoksen Nurmijärven observatoriossa Etelä-Suomessa. Laitehankinnan perusteena oli käynnissä ollut suurvaltojen ydinasekilpailu. Myös Suomessa katsottiin välttämättömäksi mahdollisimman nopeasti havaita ja paikantaa tehdyt räjäytykset, varsinkin kun Neuvostoliiton tärkeä koealue Novaja Zemljan saarella pohjoisen Jäämeren länsiosassa oli verraten lähellä Suomen aluetta. Sodankylän mikrobarografi oli suomalaista alkuperää ja se rekisteröi paineenmuutokset nokipaperille, jonka käyttö oli hankalaa ja likaista.

Seismografien ja mikrobarografien yhdistelmä osoitti käyttökelpoisuutensa syksyllä 1961, jolloin Neuvostoliiton ydinräjäytysten sarja huipentui siihen asti voimakkaimpaan ilmakehässä tehtyyn kokeeseen 30.10.1961. Tällöin havaittiin seismografilla voimakas järjestyssignaali ja pian sen jälkeen mikrobarografilla poikkeuksellinen paineaalto. Ne antoivat vihjeen tapahtuman etäisyydestä ja myös epätavallisesta voimakkuudesta. Tiedot tapahtuneesta välitettiin Helsinkiin puhelimitse. Yhdessä seismologian laitoksen ja Nurmijärven observatorion seismisten havaintojen perusteella voitiin saada luotettava kuva tapahtumasta. Myöhemmin kävi kansainvälisistä lähteistä ilmi, että kyseessä oli 50 megatonnin ydinpommi, joka oli räjäytetty lentokoneesta noin neljän kilometrin korkeudella. Edullisten tuuliolosuhteiden vuoksi Suomi säästyi suoralta ydin-

<sup>36</sup> Ilmakehän normaaleista meteorologisista syistä johtuvia ilmanpaineen vaihteluja mitataan yleensä yhden hehtopascalin (hPa) tarkkuudella. Mikrobarografien lukematarkkuus on tyypillisesti 0,01 hPa.

saasteelta. Mikrobarografien havainnot osoittivat, että Novaja Zemljalta lähtenyt ydinpommin aiheuttama paineaalto eteni noin puolessa tunnissa Sodankylästä Nurmijärvelle.

Maailmanpoliittinen tilanne kehittyi 1960-luvun ydinpommikokeiden jälkeen suotuisasti siten, että ilmakehässä tehtävät ydinasekokeilut lopetettiin suurvaltojen välisellä sopimuksella vuonna 1963.

## Paikalliset maanjäristykset

Seismologisen aseman perustehtävänä on rekisteröidä kaikki asemalle saapuvat havaintokynnyksen ylittävät maaperän liikkeet. Näiden joukossa ovat erikoisasemassa aseman lähiympäristössä tapahtuvat pienet järjestykset. Suomessa niitä tapahtuu vain vähän, ja useimmat jäävät ilman seismografeja havaitsematta. Suuri osa Suomen seismisistä tapahtumista on yleensä havaittu Pohjois-Suomessa. Tunnettu järjestysalue on Kuusamon seutu, mutta myös Pohjanlahden perukasta ja Tornionlaaksosta tunnetaan historiallisiin järjestyksiä, samoin Merenkurkun ympäristöstä.

Sodankylän seismiselle asemalle tuli alusta pitäen tehtäväksi Pohjois-Suomen pienten järjestyksien kartoittaminen. Aseman rekisteröintien perusteella on mahdollista arvioida tapahtuman etäisyys mittausta paikalta ja järjestyksen voimakkuus (magnitudi).

## Uusi asema Pittiövaaraan

Sodankylän maantieteellinen sijainti on hyvin sovelias sekä Pohjois-Suomen järjestyksien että kautta maapallon tapahtuvien suurten järjestyksien seurantaan. Puutteena oli, että maaperä anturien alla ei ollut mahdollisimman kiinteä, joten rekisteröinnit olivat herkkiä observatorion alueella syntyneille paikallisille häiriöille. Uusi paikka löytyi tutkimuksen jälkeen Pittiövaarasta noin 12 kilometriä observatoriosta luoteeseen. Sinne rakennettiin vuonna 1971 observatorion sivuasema, jonne myös seismografeille saatiin sopivat tilat. Kallioperä anturien alla osoittautui kelvolliseksi.

Kevään 1973 kuluessa seismometrit siirrettiin Pittiövaaran asemalle. Seismometriä mitaustilanteita siirrettiin radiolinkillä Pittiövaarasta observatorioon. Rekisteröintimateriaalina oli edelleen valokuvapaperi aina vuoteen 1982 saakka. Seismogrammit kehitettiin päivittäin ja niistä luettiin järjestyksien saapumisajat, jotka raportoitiin seismologian laitokselle Helsinkiin.

Uudet modernit seismometrit asennettiin vuonna 1984, mutta muuten aseman toiminta jatkui ilman suuria muutoksia koko 1980-luvun. Vasta 1990-luvun puolivälissä seismiset rekisteröinnit saatiin digitaaliseen muotoon. Vuonna 1997 observatorion siirryttyä Oulun yliopiston osaksi observatorion ja yliopiston seismologiset yksiköt yhdistettiin.

Seismisen aseman hoitaja Airi Kataja jäi eläkkeelle vuonna 1991 ja hänen tehtäviään jatkoi Johannes Kultima muiden tehtäviensä ohella.

## Seismologia Oulun yliopistossa ja Sodankylän observatorion Oulun yksikössä

Ensimmäiset seismiset mittaukset Oulussa aloitettiin 17.12.1959 Helsingin yliopiston ja Oulun yliopiston fysiikan laitoksen yhteistyönä. Alunperin seismiset laitteet asennettiin Myllytullin vesivoimalaan Oulun keskustassa. Myllytullin väliaikainen asema oli varustettu Nurmian suunnittelemaalla seismisellä laitteistolla ja asema toimi syksyyn 1960 asti. Oulun yliopiston fysiikan laitoksen henkilökunta oli vastuussa aseman toiminnasta.

Vuonna 1963 fysiikan laitos perusti uuden seismisen aseman Huttukylään, joka sijaitsee noin 18 kilometrin etäisyydellä Oulusta. Uusi asema varustettiin Benioff-seismometreilla. Myöhemmin asemalle hankittiin muitakin seismisiä laitteita. Vuonna 1970 Oulun yliopisto perusti uuden seismisen aseman Kuusamon lähelle.

Digitaalinen rekisteröinti uudenlaisen seismisen laitteiston avulla alkoi Oulun Huttukylässä vuonna 1999 ja Kuusamon asemalla vuonna 2000. Data siirrettiin sekä Oulun yliopistoon että Helsingin yliopiston seismologian laitokselle lankapuhelinlinjan avulla.

Vuonna 1968 Oulun yliopistoon perustettiin seismologin virka. Siihen valittiin Heikki Korhonen (1924–2007), joka nimitettiin sittemmin Helsingin yliopiston seismologian laitoksen johtajaksi vuonna 1977. Hänen jälkeensä seismologisia tehtäviä Oulussa hoiti FL Jukka Yliniemi eläköitymiseensä, eli vuoteen 2004 asti. Hänen jälkeensä seismologin virkaan nimitettiin Oulun yliopistosta dosentti Elena Kozlovskaya. Vuodesta 2015 lähtien seismologin tehtäviä on hoitanut FT Hanna Silvennoinen, kun Elena Kozlovskaya nimitettiin professoriksi Oulun yliopiston kaivannaisalan tiedekuntaan.

Seismologiaan kuuluvat tehtävät siirtyivät vuonna 1985 Oulun yliopistoon perustetulle geofysiikan observatoriolle. Uusi muutos tapahtui vuonna 1998, kun Oulun yliopiston geofysiikan observatorio liitettiin osaksi Sodankylän geofysiikan observatoriota Oulun yksikön nimellä.

Oulun yliopiston tärkeimpiä seismologisia tutkimusaiheita olivat toiminnan alkuaikoina mikroseismiset kohteet ja lähialueiden seismisyys. Vuodesta 1980 lähtien alan tutkijat ovat aktiivisesti osallistuneet syväseismisiin luotauksiin sekä litosfääritutkimukseen Suomessa ja ulkomailla (Luosto and Hyvönen, 2001).

## Seismiset havainnot Sodankylän geofysiikan observatoriossa 2000-luvulla

Jo 2000-luvun alussa tuli selväksi, että Sodankylän geofysiikan observatorion pysyvät seismiset asemat eivät täyttäneet modernin seismologian vaatimuksia. Ensinnäkin niissä oli lyhytperiodiset seismometrit, vaikka enemmistö seismisten havaintoverkkojen toimijoista Euroopassa oli jo ottanut käyttöön nykyaikaiset laajakaistaseismometrit. Toinen ongelma oli se, että Sodankylän observatorion asemien aineisto ei ollut vapaasti käytettävissä eikä arkistoitu kansainvälisten

standardien mukaisesti. Helsingin yliopiston seismologian instituutti käytti Sodankylässä tehtyjä rekisteröintejä ainoastaan paikallisten seismisten tapausten paikannukseen.

Vuosina 2005–2007 Sodankylän geofysiikan observatorion Oulun toimintayksikkö alkoi uudistaa omia pysyviä seismisiä asemiaan. Uudistuksen osana lyhytperiodiset seismometrit korvattiin laajakaistaseismometreilla. Tiedonkeruujärjestelmät ja niiden ohjelmistot päivitettiin kansainvälisen standardien mukaisiksi. Datansiirtoon alettiin käyttää internet-yhteyttä. Saksassa sijaitsevan Potsdamin GeoForschungsZentrum -datakeskuksen (GFZ) kanssa tehtiin sopimus aineiston arkistoinnista ja jakamisesta GFZ:n kautta kansainvälisen tiedeyhteisön käyttöön.

Tällä hetkellä Sodankylän geofysiikan observatorion Oulun seisminen ryhmä on vastuussa Pohjois-Suomen seismografiverkosta, joka rekisteröi kaukojäritykset, Suomen alueen paikallisjäritykset ja räjäytykset. Automaattisia havaintoasemia on kuusi ja ne kuuluvat maailmanlaajuiseen FDSN-verkostoon (Federation of Digital Seismological Networks). Aineistoa käytetään niin seismisessä havaintotoiminnassa Pohjois-Euroopassa kuin maailmanlaajuisesti paikallis- ja kaukojärityksien paikannuksessa sekä seismologian yleisessä tutkimuksessa. Lisätietoja Sodankylän geofysiikan observatorion seismisistä havainnoista ja rekisteröintilaitteistoista saa observatorion verkkosivuilta.

## Osallistuminen havainto- ja tietopalveluihin (EPOS)

Euroopan mannerlaatan seurantajärjestelmä (EPOS, European Plate Observing System) on kiinteän maan geotieteiden tutkimusinfrastruktuuri Euroopassa. Sen toteuttaminen alkoi vuonna 2008. EPOS on pitkän aikavälin hanke, jonka tavoitteena on yhdistää nykyiset Euroopan maiden kiinteän maan geotieteiden havaintojärjestelmät seismologian, geodesian ja magnetismin aloilla, sekä näihin kuuluvat tutkimuslaboratoriot sekä datakeskukset. Suomen kansallisen EPOS-konsortion (FIN-EPOS) yhteistyökumppaneita ovat Helsingin ja Oulun yliopistot, Maanmittauslaitos, Ilmatieteen laitos, Geologian tutkimuskeskus, Tieteen tietotekniikan keskus Oy (CSC), Aalto-yliopisto ja Teknologian tutkimuskeskus Oy (VTT). Kansallista konsortiota koordinoi Helsingin yliopiston seismologian instituutin johtaja Annakaisa Korja. Hanketta rahoittaa Suomen Akatemia vuoteen 2017 saakka noin 450 000 euron määrärahalta.

Nykyiseen Suomen kansalliseen seismografiverkkoon kuuluvat Helsingin yliopiston seismologian instituutin ylläpitämät laitteet sekä Sodankylän geofysiikan observatorion omat havaintoasemat. Näiden muodostama tiheä verkko mahdollistaa Pohjanlahden ja Lapin alueiden pienten maanjäristysten havainnoinnin osana Euraasian mannerlaatan sisäisten seismisten jännitysvoimien tutkimusta. Lisäksi Sodankylän geofysiikan observatorion tavoitteena on käyttää laajennetun verkon aineistoa Grönlannin mannerjäätikön sulamisesta aiheutuvien järistysten seurantaan. Uutta tietoa verkon avulla saadaan myös kotimaisen kaivostoiminnan aiheuttamien seismisten häiriöiden (kallioräiskeiden) tutkimiseen.

## Litosfääritutkimus Oulun yliopistossa

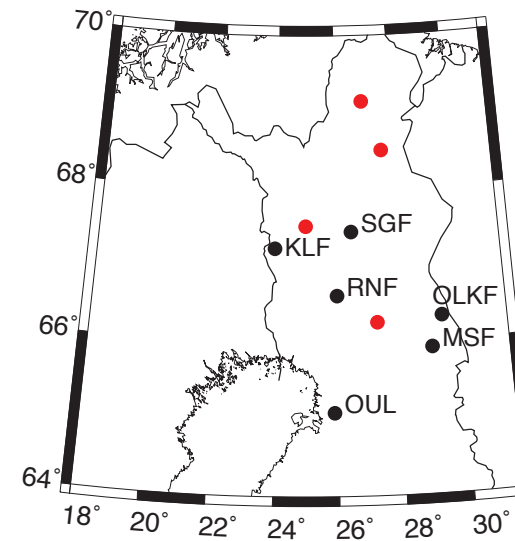
Yksi Suomessa harjoitetun seismologian tärkeimmistä tutkimusaiheista on ollut maapallon kuoren ja litosfäärin, eli maapallon ylimmän kiinteän kerroksen tutkimus seismisten menetelmien avulla. Oulun yliopistossa kuoren ja litosfäärin rakennetta tutkittiin aktiivisesti vuodesta 1981 lähtien, kun ensimmäiset SVEKA'81 ja BALTIC seismiset syväluotausmittaukset tehtiin Suomen, Puolan, Neuvostoliiton, Ruotsin ja Saksan tutkijoiden yhteistyönä (Grad and Luosto, 1987). Osallistuminen kansainvälisiin seismisiin litosfääritutkimusprojekteihin merkitsi hedelmällistä yhteistyötä eurooppalaisten geotieteiden huippututkijoiden kanssa. Se on laajentanut merkittävästi tutkijoiden toimintamahdollisuuksia.

Vuosina 1981–2008 Oulun yliopiston seismologian tutkijat ovat osallistuneet moniin kansainvälisiin syväseismisiin litosfääritutkimusprojekteihin, joissa seismisen energian lähteenä on käytetty räjähteitä tai mekaanista värähtelyä tuottavia laitteita. Niistä merkittävimmät olivat SVEKA'91- ja FENNIA-projektien seismiset profiilimittaukset Etelä- ja Keski-Suomessa, sekä BABEL (Baltic and Bothnian Echoes from the Lithosphere) Selkä- ja Perämerellä vuonna 1991.

Vuosina 1998–1999 Suomessa järjestettiin laajamittainen seisminen verkkomittaus EUROPROBE/SVEKALAPKO, jonka tarkoituksena oli kartoittaa litosfäärin rakennetta ja paksuutta seismisten tomografiamentauksen avulla Etelä- ja Keski-Suomessa sekä Venäjän Karjalassa (Hyvönen et al., 2007). Asemaverkko käsitti 124 siirrettävää seismografiasemaa sekä Suomen 14 pysyvää seismistä asemaa. Hankkeeseen osallistui 14 yliopistoa ja tutkimuslaitosta. Sodankylän geofysiikan observatorion Oulun toimintayksikön seismologian ryhmä oli vastuullinen noin 50 prosentin osuudella asemien ylläpidosta ja aineiston käsittelystä sekä mittausten tulkinna.

Helsingin ja Oulun yliopistojen rehtorit ehdottivat opetusministeriölle vuonna 1996, että litosfäärin seismisten heijastusluotaus tutkimuksien kustannukset sisällytettäisiin entisen Neuvostoliiton Suomen-velan takaisinmaksuohjelmaan. Sitä varten perustettiin yhteistyöhanke, johon kuuluvat Geologian tutkimuskeskus sekä Helsingin ja Oulun yliopistot. Velkahankkeen venäläinen osapuoli teki seismisiä luotausmittauksia Suomessa usean vuoden aikana. Mittaukset suoritettiin pääasiassa tieverkkoa pitkin, missä seismisen signaalin synnyttämiseen käytettiin erikoisrakenteisia vibraattorikuorma-autoja. Näitä FIRE-linjoja (Finnish Reflection Experiment) mitattiin yhteensä 2150 kilometriä eri puolilla Suomea (Korja et al., 2003). Lisätietoja seismologian projekteista saa muun muassa Helsingin yliopiston seismologian instituutin verkkosivuilta.

Oulun yliopiston seisminen ryhmä osallistui CELEBRATION 2000 - projektiin (Central European Lithospheric Experiment Based on Refraction 2000) vuonna 2000. Hankkeen puitteissa toteutettiin suurin Euroopassa tehty seisminen syväluotaus, joka käsitti 15 mittaustinjaa Puolan, Tšekin, Unkarin, Slovakian, Itävallan, Saksan, Valko-Venäjän ja Venäjän alueilla. Projektiin osallistui tutkimusryhmiä myös USA:sta, Kanadasta, Tanskasta ja Turkista.

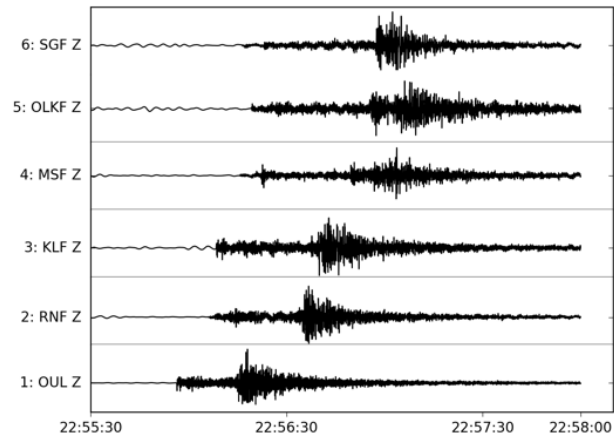


Mustat pallot:  
Sodankylän geofysiikan  
observatorion pysyvät seismiset  
asemat vuonna 2016: Oulu  
(OUL), Sodankylä (SGF), Kolari  
(KLF), Rovaniemi (RNF),  
Oulanka (OLKF) ja  
Kuusamo (Maaselkä) (MSF).  
Punaiset pallot: suunnitteilla  
olevat EPOS-verkoston  
kuuluvat seismiset asemat.  
(KUVA: Hanna Silvennoinen)

Oulun yliopiston tutkijat ovat olleet mukana myös Unkarissa, Itävallassa ja Liettuassa monikansallisissa seismisissä luotaus-hankkeissa 2000-luvun alussa. Mukana mittaustauksissa oli myös Sodankylän geofysiikan observatorion laitteita.

Yksi merkittävimmistä Sodankylän geofysiikan observatorion koordinoimista seismologian alan tutkimusprojekteista oli POLENET/LAPNET-verkkomittaus (Polar Earth Observing Network) Fennoskandian pohjoisosissa vuosina 2007–2009 kansainvälisen polaarivuoden aikana (International Polar Year, IPY). Kyseessä oli polaarialueiden tutkimukseen keskittyvä monitieteinen ja -kansallinen geofysikaalinen tutkimushanke, missä tutkimusalueina olivat muun muassa polaarialueiden geodynamiikka, Maan magneettikenttä, kuoren, vaipan ja ytimen rakenne ja dynamiikka, kryosfääri ja ilmakehä. Tutkijoita oli mukana 24 maasta. Havaintoperiodin aikana Pohjois-Fennoskandiassa toimi seismografiasemaverkko, joka käsitti 37 tilapäistä ja 21 pysyvää seismistä asemaa. Verkosta saatujen seismisten tietojen avulla tutkittiin maapallon sisäytimen rakennetta, Grönlannin jäätikön reunalla tapahtuvia seismisiä ilmiöitä sekä litosfäärin rakennetta. Tutkimuskohteina olivat myös paikalliset maanjäristykset erityisesti Fennoskandian kilven pohjoisosissa (Kozlovskaya and POLENET/LAPNET Working Group, 2011).





Sodankylän geofysiikan observatorion asemaverkon rekisteröimä maanjäristys Perämerellä 19. 3.2016. Maanjäristyksen voimakkuus (magnitudi) oli 4,1 ja järjestyspaikan paikkakoordinaatit 65.07°N, 22.53°E. (Kuva: SGO)

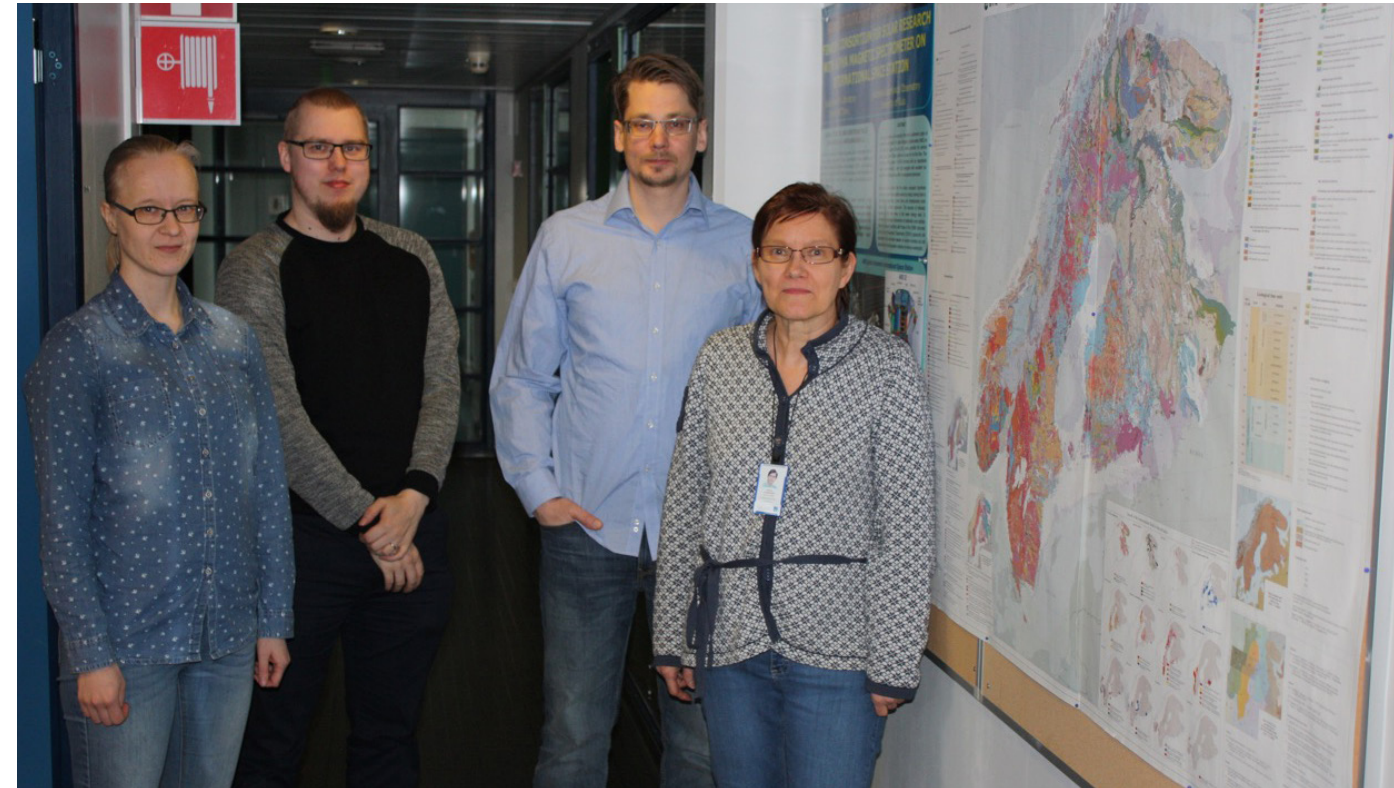
## 2000-luvun uudet haasteet

Sodankylän geofysiikan observatoriossa harjoitettavan seismisen tutkimuksen uusi alue on lisääntyvä kaivostoiminta Pohjois-Suomessa. Sen yhteydessä syntyy keinotekoisia seismisiä häiriöitä (kallioräiskeitä). Kallioräiskeitä syntyy päivittäin Ruotsin ja Suomen louhoksissa ja kaivoksissa ja niistä saattaa seurata vakavia ongelmia sekä henkilöstön turvallisuudelle että kaivostuotannon jatkuvuudelle, erityisesti Pohjois-Suomen kaivos- ja energia-alan yrityksille. Siksi vuonna 2012 Oulun yliopistoon perustettiin sovelletun seismologian laboratorio (SEISLAB) osana Sodankylän geofysiikan observatorion toimintaa. Hankkeen rahoitukseen osallistuvat myös Pohjois-Pohjanmaan liitto sekä Pyhäsalmi Mine Oy.

Uuden laboratorion pää tavoitteet ovat seismisen mittauslaitteiston lainaus- ja konsulttipalvelut paikallisille yrityksille sekä sovelletun seismologian uusien menetelmien kehittäminen. Tällaisia ovat muun muassa seismisten interferometrialuotauksien sovellukset malmin- ja mineraalinetsinnässä sekä pienen mittakaavan seismisen monitorointi kaivoksissa ja muissa vastaavissa paikoissa.

## Lopuksi

Sodankylän geofysiikan observatorion ja Oulun yliopiston seismisellä ryhmällä on pitkä kokemus seismologisesta havaintotoiminnasta, erityisesti arktisella alueella. EPOS-verkostoon osallistuminen sekä SEISLAB-laboratorion toiminnan kehittäminen ovat lähitulevaisuuden uusia haasteita, jotka Sodankylän observatorio on ottanut vastaan.



Sodankylän geofysiikan observatorion seismisen ryhmän jäsenet vuonna 2016. Vasemmalta: Hanna Silvennoinen, Jouni Nevalainen, Janne Narkilahti ja Riitta Hurskainen. (Kuva: Anton Artamonov)



Tilapäinen siirrettävä POLENET/LAPNET-hankkeeseen kuulunut seisminen asema Pohjois-Norjassa Finnmarkin alueella talvella 2007. (Kuva: Teppo Jämsen)

# 2.10

## TÄHTITIEDETTÄ TÄHTELÄSSÄ

Johannes Kultima<sup>37</sup>

Matemaatikko ja tähtitieteen harrastaja Ernst Bonsdorff<sup>38</sup> (1842–1936) teki huomattavan rahalahjoituksen<sup>39</sup> vuonna 1908 perustetulle Suomalaiselle Tiedeakatemialle tähtitieteellisen observatorion rakentamiseksi Lappiin. Sen ensisijainen tarkoitus olisi maapallon pyörimisakselin liikkeiden eli napavariaatioiden mittaaminen. Samanaikaisesti Meteorologisen keskuslaitoksen johtaja professori Gustaf Melander (1860–1867) Helsingissä teki ehdotuksen magneettis-meteorologisen observatorion perustamisesta Lappiin Suomalaisen Tiedeakatemian alaisuuteen. Bonsdorff suostui siihen, että osittain hänen lahjoituksensa turvin voitiin käynnistää magneettiset mittaukset Sodankylässä, kun vuonna 1913 perustettiin Sodankylän magneettinen observatorio.

Magneettisen observatorion johtajaksi Suomalainen Tiedeakatemia valitsi Jaakko Keräsen (1883–1979) (Nevanlinna, 2014b). Samanaikaisesti oli kuitenkin myös puhetta tähtitieteellisten mittausten aloittamisesta, koska Yrjö Väisälä (1891–1971) suunnitteli lähtevänsä Sodankylään tähtitieteilijäksi parin kolmen vuoden päästä, kuten hän kirjoitti suunnitelmistaan morsiamelleen Maritta Levanolle (1894–?). Yrjö Väisälän ajatuksena oli tehdä napakorkeusmittauksia Sodankylässä. Mittaukset kohdistuisivat niihin tähtiin, joita voidaan havaita ympäri vuoden, talvella päivällä ja kesällä yöllä.

<sup>37</sup> Johannes Kultima (1945–2014) kuoli kesken tämän kirjoituksen syksyllä 2014. Keskenkärsäisen käsikirjoituksen on viimeistellyt tämän kirjan toimittaja.

<sup>38</sup> Ernst Bonsdorffin matemaattisista töistä on kirjoittanut Elfving (1981). Hän teki elämäntyönsä matematiikan opettajana muun muassa Helsingin normaalilyseossa.

<sup>39</sup> Lahjoitus oli 10 000 markkaa (Melander, 1914; Nevanlinna, 2014b) eli noin 42 000 euroa vuoden 2014 rahassa.

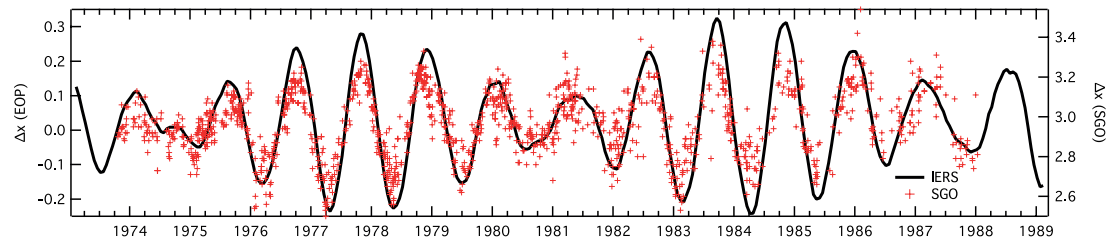
Ensimmäinen maailmansota syytti ja suunnitelmiin tuli katkos. Sodan aikana Väisälä työskenteli Meteorologisen keskuslaitoksen magneetikkona ja sen jälkeen vastaperustetun Geodeettisen laitoksen geodeettina 1918–1923. Turun Suomalaisen yliopiston fysiikan professorin virkaa julistettiin auki helmikuussa 1923. Sitä haki kaksi henkilöä, Jaakko Keränen ja fysiikan virkaa toimittavana professorina syyskuun 1923 alusta alkaen toiminut Yrjö Väisälä. Virkaan nimitettiin Yrjö Väisälä 29. joulukuuta 1924. Näin ollen peruuntuivat lopullisesti hänen suunnitelman- sa muuttaa Sodankylään tähtitieteellisiin mittauksiin.

Observatoriotoimikunta käsitteli vielä vuonna 1919 tähtitieteellisen osaston perustamista observatorion yhteyteen toimikunnan jäsenen Ernst Bonsdorffin aloitteesta. Kordelinin säätiöltä anottiin varoja tähän tarkoitukseen, kuten Tiedeakatemian pöytäkirjoista selviää, mutta varat jäivät saamatta ja hanke raukesi. Uudelleen observatoriotoimikunta teki 1920- ja 1930-luvuilla aloitteita tähtitieteellisen aseman perustamiseksi Sodankylään, mutta varojen puutteesta johtuen hankkeet eivät johtaneet haluttuun tulokseen, vaikka Ernst Bonsdorff antoi lisää lahjoitusvaroja tähtitornia varten vuonna 1930. Vielä vuonna 1944 Kordelinin säätiö myönsi tähtitieteellistä observatoriota varten 500 000 markkaa (100 000 euroa), mutta varat käytettiin observatorion jälleerakennuksen muihin kuluihin.

Ehti kulua melkein 50 vuotta, ennen kuin Ernst Bonsdorffin, hänen poikansa Ilmari Bonsdorffin<sup>40</sup> (1879–1950) ja Yrjö Väisälän unelma tähtitieteellisistä mittauksista Sodankylässä alkoi toteutua. Observatoriotoimikunnan puheenjohtaja Vilho Väisälä (1889–1969) ehdotti vuonna 1964, että Sodankylään hankitaan zeniittikaukoputki ja siihen tarvittava tähtitorni napavariaatiomittauksia varten. Hankkeen kustannusarvio oli 65 000 markkaa (noin 120 000 euroa) (Halila, 1987). Lahjoitusvaroja saatiin tähtitornia varten WSOY:ltä ja Outokumpu Oy:ltä. Vasta vuonna 1967 tehtiin lopullinen päätös zeniittikaukoputken hankinnasta.

Saman vuoden syksyllä Vilho Väisälä katsasti observatorion alueelta sopivan paikan. Se sijoitettiin mäntykankaalle geofysiikan observatorion ja ilmatieteellisen observatorion välille. Tarvittava kaukoputki tilattiin akateemikko Yrjö Väisälän johtamalta Tuorlan observatoriolta. Kyseessä oli 5 m pituinen ja 0,3 m läpimittainen zeniittikaukoputki. Asema pystytettiin vuonna 1972 Turun yliopiston tähtitieteen professori Liisi Oterman (1915–2001) johdolla. Yrjö Väisälä ei enää ehtinyt nähdä uutta Sodankylän tähtitornia. Hän kuoli vuonna 1971. Säännölliset havainnot aloitettiin 1.7.1973. Mittauksista vastasi tämän kirjoittaja. Olin opiskellut tähtitiedettä Yrjö Väisälän oppilaana 1960- ja 1970-luvuilla. Koska olen syntynyt Lapissa Enontekiöllä, oli ilmeistä, että Yrjö Väisälä oletti minun olevan kiinnostunut aseman hoitajan tehtävistä Sodankylässä.

<sup>40</sup> Ilmari Bonsdorff oli Geodeettisen laitoksen ensimmäinen johtaja 1918–1950 (Kakkuri, 2008).



Ristit: Maapallon navan aseman x-koordinaatti (metreissä) 1973–1988 Johannes Kultiman Sodankylän (SGO) Tähtelän zenititaukoputkella tehdyistä havainnoista. Aaltoviiva: navan x-koordinaatti (kaarisekunneissa) kansainvälisen Earth Rotation and Reference Systems Servicen (IERS) tietokannasta. Napavariaatiossa on kaksi vallitsevaa jaksollisuutta 12

kk ja 14 kk (Chandlerin periodi), jotka kuvan mukaan resonovat noin 7 vuoden välein. Sodankylän havainnot toistavat hyvin nämä jaksollisuudet ja niiden amplitudit. Fourier-sovitus havaintopistejoukkoon tuottaa jaksot 1.00 v (= 12.0 kk) ja 1.19 v (= 14.3 kk). (DATA-ANALYYSI JA PIIRROS: Heikki Nevanlinna)

## Napavariaatio ja sen mittaaminen

Maapallon pyörimisakseli on vinossa Maan kiertoradan tasoa vastaan. Pyöriessään akselinsa ympäri maapallo heilahtelee hieman Auringon, Kuun ja planeettojen vetovoimien vaikutuksesta. Sen vuoksi taivaannapa, joka on piste, jossa Maan pyörimisakselin jatke leikkaa taivaanpallon, siirtyy jatkuvasti tähtien suhteen. Muutokset navalla maanpinnalla mahtuvat tenniskentän suuruiselle alueelle. Navan tarkka asema on tunnettava, minkä takia navan liikkeiden seuraamiseksi oli perustettu maailmanlaajuinen havaintoverkko jo 1900-luvun alussa. Maapallon pyöriminen akselinsa ympäri ei ollutkaan niin säännöllistä kuin oli vielä 1800-luvulla oletettu, mutta mittaustarkkuus ei vielä ollut riittävä, jotta pyörimisen epäsäännöllisyys olisi voitu uskottavasti todeta. Mittauksia koordinoi 1960-luvulle saakka kansainvälinen keskus International Polar Motion Service Japanissa. Nykyisin vastaavasta tehtävästä vastaa International Earth Rotation and Reference System Service (IERS).

Tähtitieteilijät ympäri maailmaa innostuivat mittaamaan napavariaatiota. Niin teki myös lukiolainen Yrjö Väisälä Suomessa. Hän käytti mittauksissaan kyseistä menetelmää ja saavutti erinomaisen tarkkuuden. Mittauksiinsa hän käytti itse tekemänsä pasaasikonetta. Suorittaessaan sittemmin Helsingin yliopistossa tähtitieteellisiä harjoitustöitä hän kertoi tähtitieteen professori Anders Donnerille (1854–1938), miten hän oli jo lukiossa ollessaan tehnyt napakorkeushavainnoja.

Niinpä hän sai jo toisena opiskeluvuotenaan vuonna 1910 ylimääräisen assistentin viran tähtitieteen laitoksella. Tehtäviin kuului napavariaation mittaaminen. Niitä varten Helsingin yliopiston tähtitorninmäelle rakennettiin erityinen havaintopaviljonki, missä valokuvausmenetelmällä seurattiin navan liikkeitä 1900-luvun alusta ensimmäiseen maailmansotaan saakka (Markkanen, 2015).

Mittaustarkkuuden lisääntyessä lisääntyvät myös vaikeudet tulosten analysoinnissa. Navan liike oli edelleen mysteeri. Japanilainen tähtitieteilijä Hisashi Kimura (1870–1943) esitti vuonna 1902, että navan liikkeeseen tulisi lisätä pieni termi,  $z$ . Tätä lisäystä alettiin kutsua Kimuran  $z$ -termiksi (Yokoyama et al., 2000). Se on suuruudeltaan optisilla laitteilla tehtävien napamittausten tarkkuuden rajoilla noin  $0,02''$ , mikä vastaa navan liikkeessä noin 50 cm. Mutta pitkistä havaintosarjoista näinkin pieni muutos on erotettavissa sopivalla tilastoanalyysillä. Tämä  $z$ -termi johtuu lähinnä maapallon sisäisen massan liikkeistä, mutta ennen kaikkea Kuun vaikutuksesta Maan ja Kuun massakeskipisteen liikkeisiin (nutaatio). Napavariaation jokseenkin tasan vuoden mittaisen "ylimääräisen" jakson arveltiin johtuvan nutaation epätarkasta tuntemisesta. Ongelmaan haettiin ratkaisua perustamalla lisää asemia, kaksi eteläiselle pallonpuoliskolle ja Skandinaviaan asemat Uppsalaan ja Kristianiaan (Oslo), Nämä kaksi asemaa sijaitsivat likipitään samalla leveyspiirillä kuin Pulkova Venäjällä lähellä Pietarin kaupunkia, joten niissä voitiin mitata samoja tähtiä kuin Pulkovassa. Ilmari Bonsdorff, joka työskenteli tähtitieteilijänä 1900-luvun alussa Pulkovassa, ajatteli mitä ilmeisemmin perustaa aseman Sodankylään napavaihtelun leveyspiirimuutosten tutkimusta varten. Erityisesti  $z$ -termin leveysasteesta riippuvat muutokset tulisivat näin todennetuiksi kahden toisistaan kaukana sijaitsevan aseman havainnoista. Tällä tavoin olisi saatu aikaan mittausverkko sekä leveys- että pituusastevaihtelujen mittausta varten. Sodankylän geofysiikan observatorion perustaminen osui luonnontieteiden kehityksen kannalta mielenkiintoiseen vaiheeseen. Viime vuosisadan alussa syntyneiden suhteellisuusteorian ja kvanttiteorian mullistusten ohella myös tähtitieteen ja siihen kuuluneen geodesian alalla jouduttiin tarkistamaan vakiintuneita käsityksiä.

Lopullinen todistus siitä, että maapallon pyöriminen akselinsa ympäri on kaikkea muuta kuin säännöllinen saatiin 1800-luvun lopulla. Pulkovan observatorion suorittamat mittaukset maapallon muodosta, sen painovoimakentän jakaumasta ja tähtitieteellisten leveysasteiden muutoksista olivat laajalti maailmalla tunnettuja. Maapallon sisäisten massojen vaikutukset maan pinnalla oli erittäin tärkeä tuntee, joten tutkimusta varten oli hankittava mittaustuloksia laajalti eri leveysasteilta.

Ruotsalais-venäläinen retkikunta teki vuosina 1899–1900 astemittauksia Huippuvuorilla maapallon dimensioiden määrittämiseksi pohjoisilla leveysasteilla. Ernst Bonsdorffin poika, Ilmari, kutsuttiin analysoimaan mittauksia Pulkovassa jo heti vuosisadan alussa. Seuraavassa vaiheessa Ilmarin tehtäviin kuuluivat napavariaatiomittaukset Pulkovan zenititaukoputkella. Bonsdorff teki mittauksia kolmen vuoden ajan ja sai ne päätökseen vuonna 1907. Kansainvälinen yhteisö odotti mielenkiinnolla hänen tuloksiaan. Olihan Pulkova tunnettu tähtitorni ja Ilmari



Bonsdorff arvostettu havaitsija. Hänellä oli siten merkittävä asema kuuluisan observatorion tähtitieteellis-geodeettisissa tutkimuksissa. Ilmari Bonsdorff nimitettiinkin Pulkovan nuoremaksi astronomiksi vuonna 1909.

Sodankylässä oli ollut polaarivuoden aikana magneettinen ja meteorologinen havaintoasema vuosina 1882–1884. Saadut kokemukset osoittivat, että säännöllinen mittaustoiminta oli toteutettavissa Sodankylän leveysasteella. Siellä tehtävät paikanmääritykset ja painovoimamittaukset olisivat näin ollen hyvin arvokas lisä tutkimukselle, koska Sodankylä sijaitsee jokseenkin puolivälissä Pulkovaa ja Huippuvuoria. On hyvin todennäköistä, että Ilmari Bonsdorff oli ratkaisevasti vaikuttamassa siihen, että hänen tähtitieteestä kiinnostunut isänsä Ernst Bonsdorff päätti tehdä lahjoituksensa Suomalaiselle Tiedeakatemialle tähtitieteellisen observatorion perustamista varten Lappiin. Tästä syystä Ernst Bonsdorffin lahjoitus on nähtävä merkittävänä tekona myös maailmanlaajuisen tähtitieteellis-geodeettisen mittaustoiminnan kehittämiseksi. Ernst Bonsdorffilla oli mittaajatkin valmiina: poikansa Ilmari sekä Yrjö Väisälä, jotka molemmat olivat jo osoittaneet olevansa tarkkoja havainnontekijöitä tähtitieteellisten instrumenttien kanssa. Magneettiset mittaukset saivat kuitenkin etusijan ja geodeettien hanke lykkääntyi vuosikymmenien päähän.

Tuli muutosten aika. Suomi irtaantui Venäjästä 1917. Ilmari Bonsdorff muutti Suomeen. Hänestä tuli Geodeettisen laitoksen ensimmäinen johtaja. Geodeeteikseen hän valitsi muiden muassa Yrjö Väisälän ja Jaakko Keräsen (Kakkuri, 2008). Sodankylän observatorio keskittyi magneettisiin ja meteorologisiin mittauksiin.

Yrjö Väisälä halusi tehdä havaintoja ja kehittää yhä parempia havaintolaitteita. Tässä työssä hän oli erinomainen. Hänen laitteensa olivat yksinkertaisia ja helppoja käyttää. Lisäksi hänellä oli kyky eliminoida suurin virhelähde. Usein hänen laitteensa olivat kuin kaksi lautaa ristikkäin ja välissä okulaari. Hänen haaveenaan oli rakentaa suurempi kaukoputki, jotta napamittauksia voitaisiin tehdä myös päiväsaikaan.

### Sodankylän tähtitieteellinen observatorio ja sen toiminta vuosina 1973–1988

Kun tähtitieteelliset mittaukset päätettiin aloittaa Sodankylässä, niiden tekijäksi ajateltiin silloista observatorion johtajaa Eero Katajaa (1927–2014), joka olisi tehnyt mittauksia "muun työn ohella". Ajatus hylättiin kuitenkin nopeasti. Keväällä 1971 Yrjö Väisälä kysyi minulta, olisinko valmis lähtemään Sodankylään mittaamaan napakorkeuksia. Niin siinä sitten kävi, että minusta tuli Sodankylän observatorioon geofysikko päätyönäni napavariaation mittaukset.

Yrjö Väisälä rakennutti useita pienempiä zeniittiputkia (objektiivin halkaisija 250 mm ja polttoväli 5000 mm), joista yksi sijoitettiin Sodankylään. Sodankylän putken arvojen määrittämiseksi tein mittauksia Tuorlassa "lättypannutornissa", joka oli yhdeltä sivulta täysin avoin. Olin harjoitustyössäni osallistunut objektiivin hiomiseen ja testaamiseen, tosin melko vähäisessä

määrin. Nuori tähtitieteen opiskelija Enontekiöltä ei arvannut, että objektiivin ja zeniittiputken testaukset oli mitä ilmeisimmin jo vuosia aikaisemmin tarkoin harkittu ja ennalta suunniteltu hänen tehtäväkseen. Kun tein testimittauksia "lättypannutornissa", kylmästä hytisten, en arvannut, että varsinaisessa työpaikassani tulisi olemaan vielä kylmempi: kylmin mittaus tehtiin Sodankylässä, kun tornissa oli pakkasta 39 astetta ja ulkona miinus 42 astetta.

Ensimmäinen työni oli asentaa putki lopulliseen mittauskuntoon. Samana talvena tein noin  $1 \times 1^\circ$  kokoisen tähtien paikkamittaukset taivaannavan ympäristössä. Alustavan tähtien valinnan teki oppilastyönään nyt eläkkeelle siirtynyt Turun yliopiston avaruustähtitieteen professori Esko Valtaoja (1951–). Valintaa ei tarvinnut uusia, ja vain muutama tähti lisättiin alkuperäiseen luetteloon. Varsinaiset paikat laskettiin Turussa IBM 1130 -tietokoneella. Mittauskohteiksi valittiin kuusi tähteä. Tärkein niistä oli Lohikäärmeen tähtikuvion neljänneksi kirkkain (magnitudi 3,1) tähti nimeltä Tais ( $\delta$  Draconis), jota voidaan helposti havaita sekä talvella että kesäisin päivälläkin. Sen paikka eroaa Sodankylän zeniitistä alle puoli kulma-astetta). Ensimmäiset varsinaiset napakorkeushavainnot tein 21.10.1973. Tulokset lähetettiin kuukausittain Pariisiin (Bureau International de l'Heure, BIH) ja Japaniin (International Polar Motion Service, IPMS) yhdessä Tuorlan observatorion mittaustulosten kanssa.

Analysointimenetelmien kehittyessä Sodankylän observatoriossa laskettiin napavariaation jaksot kuuden vuoden ajalta



Sodankylän geofysiikan observatorion zeniittikaukoputken tähtitorni vuonna 2013. (Kuva: Juhani Oksman)





Sodankylän geofysiikan observatorion tähtitieteilijä ja geofysikko Johannes Kultima zeniittikaukoputken ääressä tulipalopakkasella naparetkelijän varusteissa. (KUVA: SGO)

Tuorlan zeniittiputken, Neuvostoliiton Amurin Blagoveštšenskin astrolabin ja Sodankylän zeniittiputken havainnoista maksimientropiamenetelmällä. Tulokset olivat erinomaiset: kaikista kolmesta havaintosarjasta erottuivat selvästi tunnetut niin tasan vuoden kuin 14 kuukaudenkin (Chandlerin huojunta) jaksot.

Kokeilukaukoputken innoittamana valmistuikin Tuorlaan vuonna 1960 iso zeniittiputki, ZP1, jonka objektiivin vapaa aukko oli 390 mm ja polttoväli 6875 mm. Kaltevuus mitattiin luotilangoilla, joiden tarkkuus oli noin 0,02 kaarisekuntia. Se oli noin viisi kertaa tarkempi menetelmä kuin vesivaa'alla tehty mittausta. Lisäksi tarkoissa mittauksissa tulisi ottaa huomioon myös Auringon ja Kuun vaikutus luotilangan suunnan poikkeamaan. Tämä on kuitenkin maksimisissaan vain noin 0,025 kaarisekuntia. Ylikulun mittaustarkkuus zeniittiputkella on teoreettisesti noin 0,02 kaarisekuntia. Käytännössä mittaustarkkuus on vain noin 0,1–0,5 kaarisekuntia, joten luotilangan poikkeamaa ei välttämättä tarvitse laskea. Zeniittiputki on suunnattu zeniittiin, taivaanpallon napaan, ja sitä käännellään oman akselinsa ympäri. Tällöin erillistä pystyakselia ei tarvita, ja rakenne on huomattavasti kevyempi ja ennen kaikkea halvempi kuin vastaavan kokoinen normaali pasaasikone.

Mittauksia tehtiin aina vuoteen 1988 saakka, jolloin kansainvälinen napavariaatiokeskus oli siirtynyt käyttämään satelliittihavainnoja, jotka antavat tähtitieteellisiin mittauksiin verrattuna huomattavasti tarkempia tuloksia. Observatorion viimeisen napavariaatiohavainnon tein 11.1.1988, jonka jälkeen uusiksi tehtäviksi tulivat maan magneettikentän mittaukset observatoriossa.

Akateemikko Yrjö Väisälä oli aloittanut vuonna 1913 magneetikkona Meteorologisessa keskuslaitoksessa ja siirtyi monen mutkan jälkeen 1960-luvun alussa napavariaatiomittauksiin. Itse aloitin napavariaation havaintajana vuonna 1973 ja lopetin magneettikentän mittaajana vuonna 2009. Näin yksi ympyrä sulkeutui Sodankylän geofysiikan observatorion mittaustoiminnan osalta.

# 2.11

## OBSERVATORION TEKNINEN YKSIKKÖ

Aarne Ranta

### Johdanto

Sodankylän geofysiikan observatorio (SGO) on yksi parista sadasta eri puolilla maapalloa sijaitsevasta laitoksesta, joiden tehtävänä on kerätä geofysikaalisia havaintoja planeetta Maasta ja sen lähiympäristöstä. Monet mittaukset tehdään standardien mukaan, joista on sovittu muun muassa kansainvälisen IAGA-järjestön (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) johdolla ja joiden avulla taataan havaintoaineistojen vertailtavuus. Mittaustulokset kerätään datakeskuksiin alan tutkijoiden käyttöön.

Tutkimuksen kannalta tärkeimpiä ovat observatorion pitkät ja luotettavat havaintosarjat. Niiden aikaansaaminen taataan ammattitaitoisilla työntekijöillä, jotka ovat sitoutuneet työhönsä. Mittausjärjestelmät on pidettävä jatkuvasti toimintakykyisinä, ja niitä kehitettäessä on säilytettävä vertailtavuus aikaisempiin mittauksiin. Tehtäessä muutoksia perusmittauksiin onkin toimittava hyvin konservatiivisesti.

Toinen mittausten laji ovat mittausprojektit. Ne ovat kestoaltaan rajattuja, ja niiden tavoitteena on saada mahdollisimman täydellinen tieto jostakin tutkittavasta ilmiöstä. Silloin käytetään parhaita saatavissa olevia, kohteeseen optimoituja laitteita ja menetelmiä.

Tutkimustoiminta revontulialueella on hyvin kansainvälistä. Eri maiden tutkimuslaitokset ovat tukeutuneet mittaustoiminnassaan SGO:n huolto- ja tukipalveluihin. SGO suorittaa jatkuvia mittauksia radiosignaaleilla ja tekee magneettisia mittauksia liki kahdella kymmenellä sivuasemalla. Sillä on huoltovastuu lukuisista koti- ja ulkomaisten yhteistyökumppanien havaintoasemista

Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Lisäksi observatoriolla on ollut eri tutkimuslaitosten kanssa useita yhteisiä tutkimus- ja laitekehityshankkeita.

Kerron seuraavassa, kuinka observatorion mittauksissa käytetty tekniikka ja sen mukana laitteiden hoito ja huolto ovat ajan kuluessa kehittyneet.

### Observatorion tekniikka alkuvuosikymmeninä

Ensimmäisten vuosikymmenien aikana observatorion laitekanta ja henkilökunta olivat pienet, ja mittalaitteiden ylläpitäminen ja kehittäminen olivat paljolti observatorion johtajan vastuulla.

Observatorion toiminta alkoi vuoden 1914 alussa Maan magneettikentän mittauksilla. Työntekijöitä oli vain kolme. Samaan aikaan observatorioon sijoitettiin Ilmatieteellisen keskuslaitoksen ensimmäisen luokan sääaseman mittaustulokset. Magneettikentän mittarit, magnetografit, sijoitettiin rakennuksiin, jotka olivat termостоituja ja mahdollisimman vähämagneettisia. Rekisteröinti tapahtui valokuvauspaperille; valolähteenä oli öljylamppu, kunnes observatorioon hankittiin vuonna 1930 sähkögeneraattori.

Vuonna 1927 aloitettiin revontulien korkeusmittaukset. Niitä tehtiin valokuvaamalla revontulia kahdesta paikasta, observatoriosta ja Kelujärven asemalta. Myöhemmin apuasema siirrettiin Vuotsoon. Pian kuitenkin siirryttiin yksinkertaisiin visuaalisiin havaintoihin.

Toinen polaarivuosi 1932–1933 oli observatorion mittaustekniikan kehityksen kannalta merkittävä. Tanskalainen Dan la Cour sijoitti suunnittelemansa magnetometrin testauksia varten Sodankylään. Laitteeseen liittyi nopea rekisteröinti, jonka avulla voitiin tutkia Maan magneettikentän nopeita vaihteluita. Polaarivuoden monipuoliseen mittaushjelmaan kuuluivat magneettikentän mittausten lisäksi maasähkövirtojen ja ilmakehän sähköjännitteen rekisteröinti, Auringon ja taivaan kokonaissäteilyn ja hajasäteilyn mittaukset sekä revontulien visuaaliset havainnot ja korkeuksien mittaukset. Lisäksi observatoriossa oli ensimmäisen luokan ilmatieteellinen asema, jossa tehtiin havaintojen lisäksi ilmanpaineen, lämpötilan, kosteuden, sateen, tuulen suunnan ja nopeuden sekä auringonpaisteen rekisteröintejä.

Lapin sota ja sen aikana tapahtunut observatorion tuhoaminen keskeyttivät mittaustoiminnan syksyllä 1944, ja sitä päästiin jatkamaan täydessä laajuudessaan vasta vuoden 1946 alusta.

Vuonna 1949 Ilmatieteen laitos perusti observatorion naapurisiin uuden meteorologisen observatorion, jolle ilmatieteelliset havainnot siirtyivät. Asemaa alettiin kutsua epävirallisesti Ilma-Tähteläksi.

### Observatorion tekniikka IGY:n jälkeen

Kansainväliseen geofysiikan vuoteen (IGY, International Geophysical Year, 1957–1958) valmis-



tauduttiin kehittämällä ja tehostamalla entisiä mittauksia ja aloittamalla uusia. Tärkeitä uusia aloja olivat seismiset mittaukset ja revontulivalokuvaus niin sanotuilla all sky -kameroilla, jotka ottivat kuvan koko taivaankannesta.

Merkittävin IGY:n observatorioon tuoma laajennus oli ionosfääriasema. Kun Suomen ensimmäinen ionosfääriasema oli perustettu vuonna 1956 Ilmatieteen laitoksen Nurmijärven magneettisen observatorion yhteyteen, URSI:n (International Union of Radio Science eli kansainvälinen radiotieteen unioni) kansalliskomiteassa heräsi ajatus, että myös Pohjois-Suomessa olisi aloitettava ionosfäärin mittaukset.

Elokuun alussa 1957 Sodankylässä toimintansa aloittikin yhteistyössä saksalaisen Max Planck -instituutin (MPI) kanssa aikaansaatu ionosfääriasema. Sen ionosfääriluotaimella eli ionosondilla tehtiin ionosfäärin pysty- ja viistoluotauksia, ja pian aloitettiin muitakin radioaaltojen etenemismittauksia. Radiolaitteita asentamaan tulivat Saksasta ionosondin rakentaneet diplomi-insinööri Hans-Georg Möller ja tekniikko Benno Jung. Asennustyössä oli mukana myös rakentamiseen lopuvaiheessa osallistunut tekniikan ylioppilas Juhani Oksman. Kun saksalaiset asiantuntijat poistuivat vuodenvaihteessa 1957–1958, asemalle palkattiin teknikoksi Tarmo Mustonen.

Koko observatorion laajentunutta mittaustoimintaa tukemaan tarvittiin pian lisää teknistä henkilökuntaa. Radiomekaanikoiksi palkattiinkin vuonna 1963 Kullervo Ruumensaari ja vuonna 1965 Raimo Mannermaa.

Ionosfääriasemalle valmistui kesällä 1962 uusi asemarakennus. Saksasta saatiin siihen uusi viistoluotain, jolloin vanha ionosondi voitiin keskittää pelkästään pystyluotauksia varten.

Asemarakennukseen kalustettiin myös observatorion elektroniikkapaja. Kun ionosfääriaseman asuinrakennus vuonna 1964 valmistui, sen kellarikerrokseen varustettiin observatoriolle metallipaja ja puutyöhuone. Kaikki nämä työpajat saivat lopulliset sijoituspaikkansa, kun uudet elektroniikka- ja kojerakennukset valmistuivat observatorion päärakennuksen lähistölle kesällä 1971.

Vuonna 1964 aloitettiin MPI:n aloitteesta ionosfäärin riometrimittaukset. Riometrejä saatiin myöhemmin Saksasta lisää, jolloin niitä asennettiin myös useille sivuasemille Pohjois-Suomeen. Riometristä onkin tullut yksi observatorion perusmittalaitteista. Niiden parissa observatorion tutkija Hilikka Ranta (1940–1996) teki tieteellisesti merkittävää ionosfääritutkimusta 1970-luvulta lähtien kuolemaansa saakka. 1980-luvulla vanhat riometrit korvattiin uudemmilla laitteilla, ja vuonna 1987 englantilaisen Lancasterin yliopiston viiden riometrin ketju siirtyi observatorion hoitoon. Myös Kilpisjärvelle vuonna 1994 asennettu englantilainen monikeilainen niin sanottu kuvaava riometri (IRIS, Imaging Riometer for Ionospheric Studies) on observatorion hoidossa.

EISCAT-aseman perustaminen vuonna 1977 observatorion yhteyteen toi observatorion ulottuville uusinta mittausta- ja tietotekniikkaa. Observatorion toimintaa suunnattiin tämän jälkeen tukemaan EISCAT-mittauksia, ja uusia mittauksia aloitettiin.

Braunschweigin teknillinen yliopisto asensi yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen ja SGO:n kanssa vuosina 1981–1982 Suomen ja Norjan Lappiin yhteensä viisi magnetometriasemaa, niin

sanotun EISCAT-magnetometriketjun. Sen pohjalta magnetometriasema verkko on laajentunut kansainväliseksi 38-asetukseksi IMAGE-magnetometriversioksi, jota koordinoi Ilmatieteen laitos.

Uutena merkittävänä laitteena englantilainen Leicesterin yliopisto asensi vuonna 2007 observatorioon SLICE-meteoritutkan. Tutkan avulla voidaan arvioida tuulen ja lämpötilan muutoksia yläilmakehässä 80–100 kilometrin korkeudella meteoriittien jättämien palojälkien avulla.

## Observatorioon perustetaan tekninen yksikkö

Mittaustekniikan ja mittalaitteiden jatkuvasti kehittyessä nähtiin tarpeelliseksi perustaa vuoden 1971 alusta lukien kaikkia observatorion toimintayksiköitä palveleva tekninen yksikkö, johon siirrettiin kaikki observatorion tekniset toimet. Yksikön johtamista ja mittausten kehittämistehäviä varten perustettiin samalla laboratorioinsinöörin toimi.

Olin valmistunut diplomi-insinööriksi Oulun yliopistosta vuonna 1970 ja toiminut sen jälkeen tutkimusinsinöörinä Teknillisessä korkeakoulussa. Hain observatorion laboratorioinsinöörin tointa ja tulin valituksi siihen.

Observatorioon perustettiin samaan aikaan laitelaboratorio. Siihen on pyritty jatkuvasti hankkimaan ajan tasalla olevia, ylläpitohuollossa tarvittavia mittalaitteita ja omaan laitevalmistukseen soveltuvia työkaluja.

Teknisen yksikön henkilökunnassa on tapahtunut vuosien mittaan seuraavia muutoksia: Kullervo Ruumensaari siirtyi vuonna 1975 pois observatorion palveluksesta. Hänen tilalleen radiomekaanikoksi valittiin Olli Uutela.

Sodankylän EISCAT-asemalle perustettiin vuonna 1977 useita teknisiä toimia. Tarmo Mustonen siirtyi tässä yhteydessä EISCAT:in teknikoksi. Samalla sovittiin, että hän olisi tarvittaessa edelleen käytettävissä observatorion laitteiden huollossa ja että tekninen yksikkö osallistuisi vastapalveluksena EISCAT-aseman päivystykseen.

Raimo Mannermaa valittiin samassa yhteydessä observatorion apulaisteknikoksi.

Mannermaalta vapautuneeseen radiomekaanikon toimeen otettiin radioasentaja Väinö Huhta.

Pekka Vilkki valittiin vuonna 1979 uuteen observatorion teknikon toimeen. Pertti Ylitalo palkattiin vuonna 1980 perustettuun uuteen radiomekaanikon toimeen.

Kun EISCAT-magnetometriketjun huolto sovittiin SGO:n hoidettavaksi, tähän tehtävään palkattiin vuonna 1981 tekniikko Pekka Vilkki.

ATK-laitteiden ja -tehtävien lisääntyessä observatorioon perustettiin vuonna 1986 ATK-tekniikon toimi, joka muutettiin myöhemmin ATK-insinöörin toimeksi. Siihen palkattiin Timo Rantala.

Jäin vuonna 1999 virkavapaalle siirtyäkseni Sodankylän kunnan palvelukseen tutkimus- ja yritysasiemieheksi ja jatkoin virkavapautta vuoden 2002 loppuun Astropolis Sodankylä -projektissa. Sijaiseni teknisen yksikön vastuuhenkilönä toimi tänä aikana tekniikko Pekka Vilkki.

Siirryin eläkkeelle vuonna 2008, jolloin seuraajakseni laboratorioinsinööriksi valittiin Markku Postila.

Tekniselle yksikölle ovat kuuluneet observatorion laitteista huolehtimisen lisäksi myös monet rakennustekniset työt. Yksikön huolena olivat ensinnäkin observatorioalueen tiet. Ne olivat yksityis-teitä, joten niiden hoito oli observatorion vastuulla. Tämä hoidettiin siten, että observatorion tekninen henkilökunta piti kunnossa Tie - ja vesirakennushallituksen (TVH) Sodankylän yksikön autojen radiopuhelinlaitteet ja tukiasemat ja TVH huolehti tästä korvaukseksi observatorion teiden kunnosta.

Tekninen yksikkö vastasi myös observatorion kiinteistöjen hoidosta ja korjauksista, kunnes kiinteistöjen omistus vuonna 1989 siirtyi rakennushallitukselle. Kiinteistöjen vastuuhenkilönä toimi laboratorioinsinööri. Työt tehtiin pääasiassa itse.

EISCAT:in vastaanotinaseman jäähdytys vaati uutta riittoisampaa kaivoa. Vuonna 1977 tehdyn porakaivon veden laatu ei kuitenkaan ollut riittävän hyvä, joten jouduttiin kaivamaan uusi kaivo. Se tehtiin omana työnä ja kriittisiltä osin käsin, koska hyvää vettä oli vain ohuessa maakerroksessa. Työhön osallistui ”jokainen kynnelle kykenevä”. Vesiongelmat poistuivat lopullisesti vasta vuonna 1985, kun observatorio liitettiin Sodankylän kunnan vesijohtoverkkoon.

### Sivuasema Pittiövaaraan

Vuonna 1971 observatoriolle perustettiin sivuasema Pittiövaaraan, 15 kilometrin päähän luoteeseen Tähtelästä. Sinne siirrettiin observatoriosta ja sen sivuasemalta Sodankylän keskustasta vähitellen kaikki häiriöherkät mittaukset eli seismometrit, mikropulsaatiomittaukset, riometrit, optiset mittaukset, satelliittien Faraday-mittaus ja VLF-etenemismittaus.

Koska Pittiövaarassa täytyi käydä lähes päivittäin tarkastamassa rekisteröintilaitteiden toimintaa, alettiin pian kustannusten pienentämiseksi suunnitella datan siirtämistä Pittiövaarasta observatorioon, jotta rekisteröinti voitaisiin tehdä siellä. Selvitystyössä päädyttiin radiolinkin käyttämiseen, ja tähän tarkoitukseen hankittiin aluksi käytetty radioputkilla toteutettu Televan valmistama linkki.

Tekniikan ylioppilas Lauri Löytynoja suunnitteli ja rakensi vuonna 1972 diplomityönään linkkiin PCM-laitteiston. Sen avulla linkillä voitiin välittää 16 datakanavaa 10 bitin resoluutiolla. Aluksi yhteyttä vaivasi linkin suurehko vikatiheys, mutta korjausten jälkeen datansiirto toimi tyydyttävästi.

Kesällä 1973 Pittiövaaraan rakennettiin riometriantenniksi professori Martti Tiurin kehittämä taivaannapaan suunnattu ketjuantenni. Sen suunnitteli Stefan Tallqvist TKK:sta.

Rakenteiden jäätyminen ja huurtuminen haittasivat talvisin mittauksia ja datansiirtoa huomattavasti ennakoitua enemmän. Jäätyminen ja lumikuorma rikkoivat vuonna 1978 riometriantennin, joten se jouduttiin rakentamaan uudestaan. Huurre haittasi lisäksi optisia mittauksia.

Datansiirron laatu ja luotettavuus Pittiövaarasta paranivat merkittävästi vuonna 1975, kun Televan linkit korvattiin Nokian puolijohdelinkeillä.

Vuonna 1980 valmistui Pittiövaaran kaukorekisteröintilaitteiden seuraava uusiminen. Uudessa PCM-laitteistossa oli 16 kappaletta 12 bitin datakanavaa. Laitteiston valmisti diplomityönään tekniikan ylioppilas Atte Aarnio.

Pittiövaaraan asennettiin vuonna 1984 riometreille digitaalinen rekisteröintilaitte. Sinne asennettiin myös kolmikomponenttinen (S-13) seismometri korvaamaan vanhat Kirnos-laitteet. Niiden tilalle asennettiin vuonna 2005 Streckeisen STS-2 -laajakaistaseismometrit.

Koska Pittiövaaran kallioperä on rikkonainen, seismometreille ryhdyttiin etsimään parempaa sijoituspaikkaa. Sellainen löytyikin Sodankylän varuskunta-alueelta, jonne seismometrit siirrettiin myöhemmin.

### Uusi ionosfääriluotain

Ionosfääriaseman laitteisto edusti aikanaan huipputekniikkaa. Sen tärkein laite ionosondi alkoi kuitenkin vähitellen tulla käyttöikänsä päähän. Koska siinä oli runsaasti releitä ja muuta sähkömekaniikkaa ja se oli toteutettu elektroniputkilla, laite vaati runsaasti huoltoa. Siksi vuonna 1969 alettiin SITRA:n rahoituksella kehittää uutta kotimaista ionosfääriluotainta. Oulun yliopistossa, PLL:n radio-osastossa, SGO:ssa ja Teknillisessä korkeakoulussa valmistetut laitteen osakokonaisuudet koottiin observatoriossa yhtenäiseksi laitteeksi. Tämän jälkeen päästiin aloittamaan ionosondin kokeilut ja viimeistelyt. Laite valmistui vuonna 1973 ja siirrettiin käyttöön Nurmijärvelle, jossa sille oli suurempi tarve kuin Sodankylässä.

Syksyllä 1974 SGO teki insinööritoimisto KLT Oy:n kanssa sopimuksen yhteistyöstä uuden ionosondin suunnittelusta ja rakentamisesta. Observatorio otti sopimuksessa valmistaakseen ionosondin virtalähteen ja lähettimen pääteasteen. KLT:n tavoitteena oli valmistaa kaupallinen ionosondi kansainvälisille markkinoille, ja se onnistuikin myymään useita valmistamia ionosondeja ulkomaille.

Ensimmäinen uusista laitteista otettiin käyttöön observatoriossa vuonna 1977, jolloin vanha, runsaasti huoltoa vaatinut ionosondi voitiin päästää vanhuuden lepoon. Uusi laite antoi huomattavia mahdollisuuksia mittausten optimointiin. Ionosondiin alettiinkin rakentaa Tauno Turusen johdolla uutta vastaanotinta. Työ saatiin päätökseen vuonna 1980, jolloin uusi ionosondi otettiin käyttöön.

Kun tämäkin uusi luotain alkoi lähestyä käyttöikänsä loppua, aloitettiin vuonna 2000 Tauno Turusen johdolla seuraavan sukupolven laitteen suunnittelu. Rakennustyö alkoi vuonna 2003, ja uusi, entistä huomattavasti monipuolisempi tietokoneohjattu ionosfääriluotain otettiin käyttöön kaksi vuotta myöhemmin. Samalla voitiin luopua filmirekisteröinnistä ja siirtyä digitaaliseen rekisteröintiin tietokoneella.

## Mittausprojekteja

Observatoriossa tehtiin 1960–1970 -luvuilla runsaasti erilaisia suhteellisen lyhytkestoisia radioaaltojen etenemismittauksia, muun muassa radioaaltojen vaimennusmittauksia, mittauksia VLF-aaltojen etenemisestä napakalotin yli, satelliittisignaalien Faraday-kiertymän ja sintillaation mittauksia, radiorevontulimittauksia ja OTS-satelliittimittauksia.

Kevoilta siirrettiin vuonna 1975 observatorioon saksalainen satelliittivastaanottoasema, ja sen antennia varten rakennettiin betoniperustus. Laitteita käytettiin vuosina 1977–1979 ISIS I ja II -satelliittien mittausdatan vastaanottoon. Sitä varten saatiin Kanadasta (National Research Council of Canada, NRCC) lainaksi kaksi vastaanotinta ja datanauhuri.

Observatorio on ollut vuodesta 1977 alkaen jatkuvasti hyvin aktiivinen VLF-emissioiden mittaamisessa ja siinä tarvittavien laitteiden kehittämisessä. Merkittävä tämän alan hanke oli osallistuminen neuvostoliittolaisen Aktivnyi-satelliitin VLF-projektiin vuosina 1988–1989. Vuosittain pidetään koordinoituja VLF-mittauskampanjoita yhdessä muiden mittausten kanssa. Aktivnyj-satelliitissa ilmenneen vian vuoksi maanpinnalla ei havaittu lähetettyä signaalia lainkaan. VLF-vastaanottimet oli kuitenkin suunniteltu siten, että niitä voitiin helposti käyttää myös luonnon omien signaalien vastaanottoon. Tämän seurauksena vuodesta 1990 alkaen VLF-mittauskampanjoita on tehty erityisesti EISCAT-mittauksiin liittyen.

Observatorio osallistui vuosina 1987–1997 neljään NASA:n rakettikokeeseen. Niissä käytettyjä fluxgate-magnetometrejä rakennettiin yhteistyössä Cornellin ja Oulun yliopistojen sekä Tanskan avaruustutkimusinstituutin kanssa. Kokeet olivat Dayside Cusp vuonna 1988, Auroral Turbulence vuonna 1993, Thunderstorm '94 ja Auroral Turbulence II vuonna 1997. Viimeksi mainittua varten kehitettiin uudentyypinen digitaalinen magnetometri.

Vuonna 1993 rakennettiin magnetometri Teknillisen korkeakoulun HUTSAT-satelliittihankkeeseen.

Revontuliin liittyviä akustisia ääni-ilmiöitä mitattiin Pittiövaarassa vuosien 2001–2002 revontuliäänihankkeessa.

## Rekisteröinti- ja ajoituslaitteiden kehitys

Vielä 1970-luvulla mittaustulokset rekisteröitiin erilaisilla piirtureilla, hitailla nauhureilla tai filmillä. Ne rajoittivat merkittävästi mittausten tarkkuutta, koska niiden erottelukyky tallennuksessa oli vaihteuiltaan suuria signaaleja mitattaessa vaatimaton. Mikroprosessorien ja AD-muuntimien kehittymisen mukana markkinoille tuli nopeasti kaupallisia digitaalisia datankeruulaitteita. SGO:n ensimmäisen digitaalisen rekisteröintilaitteen asensi vuonna 1978 PLH:n radio-osasto OTS-satelliittimittaukseensa.

Observatorion ensimmäinen oma digitaalinen rekisteröintilaitte asennettiin vuonna 1980



Aarne Ranta  
virittämässä radiolinkkiä.  
(KUVA: Aarne Ranta)

PSM-magnetometriin. Se oli toteutettu ABC80-mikrotietokoneella, ja rekisteröinti tapahtui C-kasetille. Digitaaliseen rekisteröintiin alettiin siirtyä tämän jälkeen myös kaikilla sivuasemilla. Mikrotietokoneiden ja tallennuslaitteiden kehittyessä mittausten nopeutta ja tarkkuutta on voitu jatkuvasti parantaa.

Eri paikoissa tehtyjen mittausten ajallinen vertailu vaatii rekisteröintien tarkkaa ajoitusta. 1960-luvulla observatorion mittaukset ajoitettiin ionosfääriaseman Rohde & Schwarzin valmistamalla kidekellolla, jonka käyntiä vertailtiin eri aikamerkkiasemien kanssa. Sitä käytettiin pitkään myös Yleisradion aikamerkin päivittäiseen tarkkailuun. EISCAT:in aloitettua toimintansa kidekelloa verrattiin EISCAT-aseman Cesium-kelloon. Kidekello korvattiin vuonna 1976 Teknillisen korkeakoulun apulaisprofessorin Kalevi Kalliomäen kehittämällä LORAN-radiosignaaliin lukittuvalla kellolla, jonka rakensi diplomityönään tekniikan ylioppilas Esko Harvala. Tarkka aika tuotiin TKK:n aikalaboratoriosta kuljetetulla kidekellolla.

Vielä 1970-luvun alussa kunkin sivuaseman operaattori merkitsi aikamerkin kerran vuorokaudessa käsin oman kellonsa mukaan. Vuodesta 1974 alkaen sivuasemille asennettiin DCF 77 -aseman radiosignaalia hyväksi käyttäviä itseajoittuvia kelloja kaikkialle, missä se oli mahdollista, muutoin niille asennettiin kidekello. Viimeksi mainitussa oli huono puoli se, että se vaati operaattorin tarkkailua. GPS-vastaanottimien tultua markkinoille mittausten tarkka ajoitus helpottui merkittävästi, ja nykyään kaikki mittaukset ajoitetaan GPS-signaalien avulla.



## Tietojenkäsittely ja tiedonsiirto

Kun tietokoneet tulivat 1950–1960 -luvulla laajempaan käyttöön, niitä oli aluksi vain suuremmilla laitoksilla. SGO:ssa mittausarvot lävistettiin tulkin jälkeen reikäkortteille, jotka lähetettiin käsittelyä varten Ilmatieteen laitoksen laskentakeskukseen. Kun EISCAT-asemalle tuotiin vuonna 1977 Norsk Datan ND10-tietokone, observatorion laskentaa alettiin suorittaa uudella laitteella. Observatorion hankittua vuonna 1984 oman ND10-tietokoneen kaikki observatorion laskentatehtävät siirrettiin sille. Oma isompi ND100-tietokone hankittiin vuonna 1986. Myöhemmin päätettiin observatorion tietojenkäsittely toteuttaa keskustietokoneen sijaan hajautetusti. Siksi vuonna 1990 observatorion ATK-järjestelmän rungoksi hankittiin Applen Macintosh tietokonejärjestelmä. Peruslaskentaa jatkettiin edelleen vanhoilla ND-koneilla, kunnes ne poistettiin käytöstä vuonna 1993.

TELE oli rakentanut observatorioalueelle puhelinkaapeliverkon. Observatorio käytti sitä pitkään myös mittaviestien siirtämiseen, mutta vuonna 1980 kaikki observatorion mittaviestit ja aikamerkit siirrettiin omaan keskitettyyn kaapeliverkkoon.

Observatorion mittaussignaaleille rakennettiin vuonna 1981 FM-siirtojärjestelmä. Sen avulla saatiin lähettimet ja vastaanottimet galvaanisesti eroon toisistaan ja mittaviestit siirtymään luotettavasti ja riittävän tarkasti eri puolille observatoriota.

Vuonna 1984 esiintyi poikkeuksellisen paljon ukkosen aiheuttamia laitevikoja sekä observatorioalueella että varsinkin sivuasemilla. Tästä johtuen vuonna 1985 observatorion signaalikaapeliverkkoon asennettiin uudet ylijännitesuojat. Ne asennettiin myös EISCAT-magnetometriverkon laitteisiin. Tulevia laajennuksia varten päivitettiin ja laajennettiin samalla observatorion tietokoneverkon kaapelointi.

Observatorio liitettiin vuonna 1991 valtakunnalliseen valokuituverkkoon. Vuonna 1993 observatorioon hankittiin uusi digitaalinen puhelinkeskus, jolloin vanha relekeskus romutettiin. Observatorio liittyi Oulun yliopiston ATK-verkkoon nopeudella 64 kb/s, joka katsottiin siihen aikaan riittäväksi. Jo seuraavana vuonna hankittiin nopeampi 512 kb/s FastNet-datayhteys. Pittiövaaran sivuasema liitettiin vuonna 1995 radiolinkillä observatorion dataverkkoon. Sivuasemille asennettiin modeemyhteydet vuonna 1996.

Observatorion sisäverkko rakennettiin aluksi kuparikaapelilla, mutta se korvattiin myöhemmin valokuidulla, joka mahdollistaa tietokoneverkon jatkuvan kehittämisen ja siirtonopeuksien nostamisen. Observatorion ATK-laitteet ovat, joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta, verkossa. Vanhentuneet tietokoneet on siirretty vähemmän vaativiin tehtäviin, kuten datan keruuseen ja palvelimiksi.

## Yhteenveto

Mittaustekniikka on observatorion satavuotisen toiminnan aikana kehittynyt erittäin voimakkaasti. Elektroniputket tulivat mittalaitteisiin toisen maailmansodan jälkeen, mutta ne korvautuivat 1970-luvulta alkaen puolijohteilla, ensin transistoreilla ja sitten mikropiireillä. Analogia- ja digitaalitekniikan nopea kehitys on tehnyt mahdolliseksi uudenlaisia mittausteknisiä ratkaisuja, joita on toteutettu erityisesti ionosfäärin ja magneettikentän mittauksissa.

Tietokoneet ovat lyöneet itsensä läpi mittaustekniikassa ja mittaustietojen tallentamisessa. Niiden avulla on päästy haluttaessa eroon hankalista ja häiriöherkistä piirtureista.

Mittausprojektit ovat olleet yleensä monikansallisia. Observatoriolla on ollut ja on edelleen useita tällaisia hankkeita, ja niissä on kehitetty uusia laitteita ja ohjelmistoja.

Huipputekniikkaa edustaa observatoriossa erityisesti EISCAT-asema. Sen perustaminen observatorion yhteyteen on vaikuttanut merkittävästi observatorion kasvamiseen ja mittaustoiminnan monipuolistamiseen.



Pittiövaaran mittausasema nykyisin. Vasemmassa reunassa on optisille laitteille rakennettu lava, johon sijoitetaan syksyllä 2016 japanilainen suurnopeusrevontulikamera, joka ottaa jopa 100 kuvaa sekunnissa. Maston vasemmalla puolella katolla on englantilaisten (University College of London) Fabry-Perot-interferometrin kupu. Rakennuksen

katolla oikealla on SGO:n revontulikamera. Mastossa on radiolinkki Tähtelään sekä maailmanlaajuiseen salamapaikannusverkkoon kuuluva WWLLN-vastaanotin. Lisäksi läheisessä maastossa on riometrejä, pulsaatiomagnetometri, infraäänivastaanottimet sekä Maanmittauslaitoksen laitteita. (Kuva: Thomas Ulich)

# 2.12

## VLF-MITTAUKSET TÄHTELÄSSÄ

Jyrki Manninen ja Tauno Turunen

Sodankylän geofysiikan observatorion magneettisten mittausten innoittamana silloinen FM Tauno Turunen aloitti harrastuksenomaisesti VLF-aaltojen (Very Low Frequency eli sähkömagneettisia aaltoja, joiden taajuusalue on 0,1–30 kHz) rekisteröinnin selkäreppuun mahtuvalla omatekoisella vastaanottimella. Antennina hän käytti pitkää ohutta sähköjohdinta, joka oli helppo vetää suoraksi pieneltä kelalta. Antennin pituus oli muutamia satoja metrejä ja antenni vastaanotti VLF-aaltojen sähköistä komponenttia. Varsinainen rekisteröinti tehtiin pienellä paristokäyttöisellä C-kasettinauhurilla. Näitä rekisteröintejä Tauno Turunen teki vuosina 1972–1982.

Vaikka laitteisto olikin harrastusmielessä rakennettu ja mittauksia tehtiin metsästys- ja marjastusretkien yhteydessä, niin tulokset olivat hyviä. Mittauksissa havaitut suuritehoisten AM-radiolähtimien aiheuttamat ELF-VLF -emissiot johtivat Nature-artikkeliin (Turunen et al., 1980), joka oli ensimmäisiä SGO:sta tiedelehti Naturessa hyväksytyjä julkaisuja ja toistaiseksi ainoa VLF-aiheesta.

Tauno Turusen siirryttyä Kiirunaan EISCAT-järjestön palvelukseen tekniseksi apulaisjohtajaksi VLF-mittauksiin tuli usean vuoden tauko. Työtehtävien päätyttyä Kiirunassa hän haki Suomen Akatemian vanhemman tutkijan paikkaa ja sai sen. Tämän hankkeen aikana Turunen suunnitteli, rakensi ja testasi uudet VLF-vastaanotinlaitteet, jotka oli tarkoitettu neuvostoliittolaisen Aktivnyi-satelliitin lähettämien VLF-aaltojen vastaanottoon maanpinnalla. Jotta vastaanotettujen aaltojen tulosuunnat ja ionosfäärin läpäisyalueet saataisiin selville, Tauno rakensi teknikko Paavo Törmäsen kanssa kuusi magneettista silmukka-antennia (kooltaan 1,25 m x 1,25 m ja 81 kierroksen tehollinen pinta-ala 126 m<sup>2</sup>). Antennit voitaisiin sijoittaa kolmeen riittävän

# L6

## VLF-AALLOT

VLF-aallot (Very Low Frequency) ovat sähkömagneettisia aaltoja, joiden taajuusalue on 0,1–30 kHz. Ne syntyvät elektronien syklotroniresonanssissa magneettisella ekvaattorialueella noin 20 000–45 000 kilometrin korkeudella. Nämä aallot vuorovaikuttavat muun muassa revontulia aiheuttavien elektronien kanssa. Lisäksi aaltoja syntyy lähellä maanpintaa salamaniskujen seurauksena, jolloin osa salaman sähkömagneettisista taajuuksista läpäisee ionosfäärin, minkä jälkeen ne etenevät magneettista kenttäviivaa pitkin. Sopivissa olosuhteissa aalto voi edetä toiselle pallonpuoliskolle, missä se voidaan vastaanottaa niin sanottuna vihellyksenä. Esimerkiksi magnetosfäärin plasmapaussi löydettiin alun perin vihellyksiä tutkimalla.

Myös ihmisen toiminnan seurauksena syntyy VLF-aaltoja muun muassa sähkölinjojen tuottamien harmonisten yliaaltojen vuorovaikuttaessa magnetosfäärin elektronien kanssa. Ionosfäärin aktiiviset kuumennuskokeet (EISCAT, HAARP jne.) saavat myös aikaan VLF-aaltoja, jotka voidaan havaita maanpinnalla ja satelliiteissa.

VLF-aaltojen avulla voidaan tutkia lähiavaruuden hiukkasten vuorovaikutusprosesseja ja aurinkotuulen vaikutuksia Maan magnetosfääriin. VLF-aallot reagoivat myös hyvin herkästi pieniinkin magneettikentän vaihteluihin, vaikka häiriöt tapahtuisivat toisella puolella maapalloa.



Iso VLF-antenni Kannuslehdossa Sodankylässä. Mastojen korkeus on 12 metriä ja antennisilmukan koko on 10 x 10 metriä. (Kuva: Jyrki Manninen)





Tauno Turusen suunnittelema ja rakentama antenni Aktivnyj-satelliitin lähettämän signaalin vastaanottoa varten. Antennin vieressä suunnittelija itse. (Kuva: Jyrki Manninen)

kaukana toisistaan sijaitsevaan paikkaan pareittain. Kultakin antenniparilta vastaanotettu signaali lähetettiin radiolinkillä tukiasemalle, jossa varsinainen rekisteröinti tehtiin sekä 6-kanavaisella digitaalisella rekisteröintilaitteella että hifi-videonauhurin kahdelle ääniraidalle. Digitaalinen rekisteröinti mahdollisti lyhyiden rekisteröintien tekemisen, kun taas videonauhurilla voitiin rekisteröidä jopa kahdeksan tuntia yhtäjaksoisesti. Videonauhurirekisteröinti oli mahdollista, koska Omega-navigointilähettimien voimakkaiden signaalien vuoksi taajuuskaista oli rajoitettu välille 0,2–10 kHz.

Laitteisto toimi aivan kuten sen pitikin, mutta Aktivnyj-satelliitista vain ei koskaan tullut signaalia, koska sen lähetinantenni ei ollut auennut oikein. Onneksi observatorion laitteisto toimi moitteettomasti ja sillä voitiin rekisteröidä luonnon omia signaaleja. Tässä vaiheessa tutkimusryhmään liittyi nuori graduntekijä Oulun yliopiston fysiikan laitokselta. Jyrki Manninen teki pro gradu -työnsä *Magnetosfäärin vihellysilmiö* (1991) observatorion laitteistolla tehdyistä rekisteröinneistä.

Jyrki Mannisen ehdotuksesta rekisteröintilaitteistoon lisättiin revontuliteleviokamera, jonka kuva tallennettiin videonauhurin kuvaraidalle samanaikaisesti, kun VLF-signaali tallentui ääniraidoille. Kun kuvasignaaliin oli lisäksi liitetty video-timerin kellonaika, saavutettiin parempi ajoitustarkkuus ja näin oli helppo verrata VLF-aaltojen ja revontulien yhteyksiä (erityisesti sykkiviin revontuliin liittyviä kuoroemissioita).

Kun Tauno Turunen löysi tekniikan yksikön nurkista joutilaat pulsaatioensensoreiden

sydämet ja sopivat elektroniikkakomponentit, saatiin järjestelmään lisättyä myös magneettisten pulsaatioiden rekisteröinti samalle videonauhalle. Laitteistolla tehtiin yhteensä neljä mittauskampanjaa syksyn 1991 ja talven 1992 aikana. Tällöin käytettiin kaikkia kuutta antennia siten, että kolme antennia kytkettiin rinnan ja kaksi kolmen ryhmää sijoitettiin kohtisuoraan toisiaan vastaan pohjois–etelä - ja itä–länsisuuntiin. Kampanjoiden aineistoista valmistui Antti Oikarisen pro gradu -tutkielma *Luonnon VLF-emissiot ja niiden käyttö magnetosfäärin tutkimuksessa* (1993).

Tämä innoitti suunnittelemaan uudet suuremmat koaksiaalikaapelista tehdyt VLF-antennit, joiden ripustamiseen piti suunnitella Oulun yliopiston fysiikan työpajassa mastojärjestelmä. Mastot tehtiin alumiiniputkista ja niiden korkeudeksi tuli 12 m, koska antennisilmukka oli nyt jo 10 m x 10 m ja kymmenen kierroksen johdosta antennien tehollinen pinta-ala oli huikeat 1000 m<sup>2</sup>. Uusien antennien ensitesti tehtiin syksyllä 1992 Sodankylän Pomokairassa. Toki uudet antennit edellyttivät myös uuden vastaanotinelektronikan suunnittelun ja rakentamisen. Se jäi Tauno Turusen tehtäväksi.

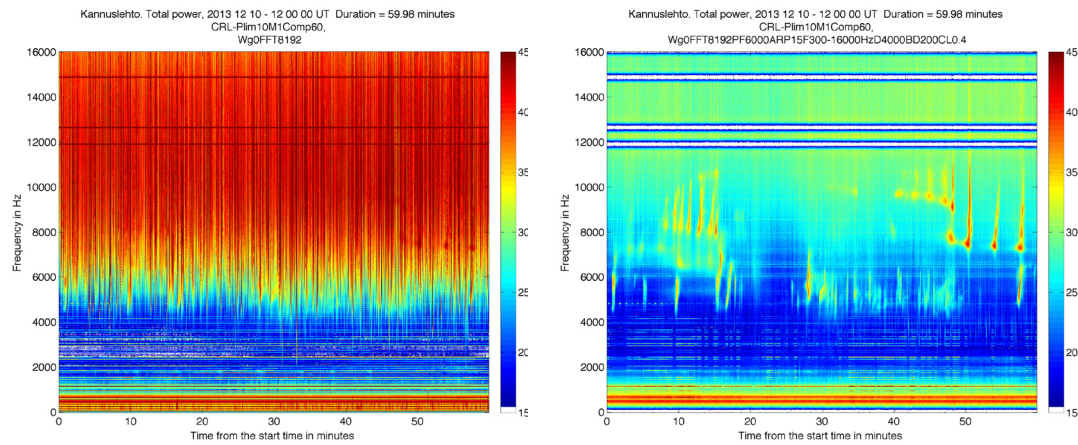
Varsinaiseen tulikokeeseen uusi vastaanotinlaitteisto joutui tammikuussa 1993, kun EISCAT-mittauskampanjaan liittyen VLF-rekisteröintipaikaksi valittiin Kilpisjärven tunturialueella sijaitseva Jogasjavri (tai Porojärvi, kuten sitä kutsutaan julkaisuissa). Antennit pystytettiin järven jäälle, pulsaatioanturit järvenrantaan ja revontuliteleviokamera Metsähallituksen Toskalojan huoltotuvan taakse. Kaikki rekisteröintilaitteet sijoitettiin kyseiseen huoltotupaan. Paikka toimi kaikkiaan neljän mittauskampanjan tukikohtana vuosina 1993–1997. Vuonna 1994 sovittu rajavartioston helikopterikuljetus Porojärvelle peruuntui viime hetkellä Estonian uppoamisen vuoksi, koska kaikki rajavartioston kopterit oli käsketty Turkuun pelastustehtäviin. Tällöin rekisteröintipaikaksi vaihdettiin rajavartioston Kalkkoainin partiotupa.

1990-luvun rekisteröinneistä tehtiin kaksi lisensiaatin tutkielmaa, Jyrki Mannisen *VLF-aallot ja magneettiset häiriöt* (1995) ja Antti Oikarisen *Ionosfäärin kuumennuskokeilla aikaansaadut VLF-aallot* (1997). Tämän jälkeen VLF-mittauksiin tuli tauko. Ensinnäkin Tauno Turunen siirtyi EISCAT-järjestön johtajaksi vuosiksi 1998–2002 ja toiseksi observatorion muut laitteet tarvitsivat enemmän huomiota. Samalla tarve oikeaan digitaaliseen rekisteröintiin tuli voimakkaammin esille. Lisäksi EU-rahoitteisen LAPBIAT-hankkeen vetovastuu vei lähes kaiken ajan.

Tauno Turusen tultua takaisin Sodankylään vuonna 2003 alkoi uuden digitaaliseen rekisteröintiin perustuvan laitteiston rakentaminen. Samalla sodankyläläinen ammatti-instituutin opettaja Seppo Kalliokoski rakensi diplomityönään uudet VLF-antennit. Niiden koko oli 3 m x 3 m ja tehollinen pinta-ala yli 1000 m<sup>2</sup>. Antennien parametrit oli suunniteltu siten, että niillä voitiin rekisteröidä jopa magneettisia pulsaatioita, koska taajuuskaista ulottuu niinkin alas kuin 1 Hz:iin. Vastaavasti Omega-navigointijärjestelmän lopettamisen jälkeen ylärajataajuus voitiin nostaa liki 20 kHz:iin. Antennit saivat tulikasteensa syys–lokakuussa 2005, jolloin tehtiin lähes kolme viikkoa kestänyt mittauskampanja Sodankylän Pomokairassa.

Digitaalinen rekisteröinti mahdollisti mittausaineiston analysoinnin jo rekisteröintipaikalla.





Esimerkki analyysiohjelmiston mahdollisuuksista. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on tunnin mittainen dynaaminen spektri taajuusalueelta 0–16 kHz. Suunnilleen 5 kHz yläpuoliset taajuudet ovat täysin salamaniskuista tulevien signaalien peittämiä. Tämä

on tavallinen maanpinnalla rekisteröity VLF-spektri. Oikeanpuoleisessa kuvassa on sama mittausaineisto, mutta analyysissä on käytetty salamasuodinta, jolloin paljastuu suuri joukko aivan uudenlaisia ilmiöitä. (KUVA: Jyrki Manninen)

Tällöin oli mahdollista tehdä erilaisia testejä ja niiden vaikutuksia voitiin tarkastella tuoreeltaan. Rekisteröintijärjestelmä löi itsensä läpi kerralla, mutta antennikonstruktiossa havaittiin sellaisia seikkoja, ettei niitä ole käytetty toista kertaa. Uudet antennit olivat vaikeita käsitellä suuren kokonsa vuoksi ja ne tarvitsivat kuorma-autokuljetuksen. Lisäksi antennin äärettömän pieni liike tuulen puhaltaessa aiheutti ylimääräisiä pulsaatio-signaaleja, joten antenni pitäisi sijoittaa jatkossa johonkin sellaiseen paikkaan, missä ei tuule. Tällaisia paikkoja voisivat olla rakennukset tai kallio-luolat. Sinänsä erinomaisille antennille tämä kampanja jäi ainoaksi, mutta niiden rakentaja Sep-po Kalliokoski sai kuitenkin diplomityönsä *Aktiivinen pientaajuusantenni maan magneettikentän mittauksiin* (2007) hyväksytyksi.

Pomokairan kampanjan aikana valmistui myös Jyrki Mannisen väitöskirja *Some aspects of ELF-VLF emissions in geophysical research* (2005). Syksyllä 2006 päätettiin etsiä uusi mittauspaikka, jonne olisi helpompi mennä autolla kuin Pikku-Siiselkään. Lukuisten ajokilometrien jälkeen paikaksi löytyi Rajalan kylän pohjoispuolella sijaitseva Kannuslehto, joka oli riittävän kaukana sähkölinjoista ja asutuksesta, eikä sinne todennäköisesti eksyisi asiattomia liikkujia muutamia metsästäjiä lukuun ottamatta. Samaan aikaan Tauno oli tehnyt merkittävän päätöksen uuden aggregaatin hankkimisesta. Sekä Tauno että Jyrki olivat kyllästyneet jatkuviin generaattorin tank-

kauksiin, jotka edellyttivät jatkuvaa mittauspaikalla olemista pois lukien muutamien tuntien metsästyslenkit. Tässä yhteydessä mittauskaistaksi vakiintui 0,1–39 kHz.

Vuosina 2006–2008 mittauskampanjat olivat alle kahden viikon mittaisia, koska paikalla oltiin koko kampanjan ajan. Vasta maaliskuussa 2008 pystyttiin järjestämään etävalvonta GSM-modeemin kautta. Mittausvaunuun sijoitettiin kamera, joka otti kuvia laitteistosta viiden tai kymmenen minuutin välein ja tietokone välitti kuvat automaattisesti kampanjan internet-sivulle. Tästä alkoi uusi aikakausi.

Jyrki Mannisen ollessa elinkeinojohtajan määräaikaisessa tehtävässä Sodankylän kunnassa vuosina 2008–2010 mittauskampanjoita ei tehty. Vasta keväällä 2011 järjestettiin mittauskampanja, jonka tarkoituksena oli siirtää Taunon tietotaitoa Jyrkille ennen Taunon eläkkeelle siirtymistä. Tässä onnistuttiin kohtalaisen hyvin. On Tauno eläkkeellä ollessaankin osallistunut lyhyitä jaksoja kampanjoiden käynnistämisiin ja ennen kaikkea hän on jatkanut analyysiohjelmiston kehittämistä aktiivisesti.

Mittauskampanjoiden kesto on pidentynyt koko ajan alun parista viikosta talven 2015–2016 kampanjaan, joka kesti jo kolme kuukautta ilman yhtään katkosta. Kyseisessä kampanjassa ei myöskään yöytty mittausvaunussa yhtään kertaa. Samaan aikaan analyysiohjelmiston kehitystyö on tuottanut merkittäviä tuloksia. Viimeisimpänä kansainvälistä tiedeyhteisöä kohahduttanut tulos oli salamaniskujen suodatuksen paljastamat ennen julkaisemattomat VLF-emissio-tyypit. Kaikkiaan Sodankylän geofysiikan observatorion VLF-mittauksista on julkaistu liki 80 kansainvälistä artikkelia.

# 2.15

## AVARUUSSÄTEILYN MITTAUSLAITTEITA LAPIN TAIVAALLA

Pekka Tanskanen ja Jorma Kangas

### Johdanto

Nykyaikainen avaruustutkimus ja avaruusaika alkoivat 1950-luvulla, jolloin elettiin kansainvälisessä avaruustutkimuksessa mielenkiintoisia ja jännittäviä vuosia. Vuosina 1957–1958 toteutettiin tieteen historian ehkä laajin yhteistyöohjelma IGY (International Geophysical Year, kansainvälinen geofysiikan vuosi), jolloin avaruuden ilmiöitä havainnoitiin kaikkialla maapallolla lukemattomilla mittausasemilla. Tämän kiihkeän tutkimusvaiheen kohokohta saavutettiin 4.10.1957, jolloin Neuvostoliitto lähetti ensimmäisen tekokuun (Sputnik) maapalloa kiertävälle radalle. Tapaus synnytti USA:ssa pelonsekaisia tunteita, sillä siihen saakka oli eletty siinä uskossa, että avaruustutkimuksen herruus oli länsimaiden hallinnassa. Yhdysvallat seurasi nopeasti perässä, ja jo 1960-luvun alkuvuosina kartoitivat satelliitit maapallon lähiympäristöä kaukana maan pinnalta ulottaen mittaukset maan magnetosfäärin ulkopuolelle aurinkotuuleen asti. Elettiin nykyaikaisen avaruustutkimuksen pioneeriaikaa.

Oulun yliopisto aloitti toimintansa vuonna 1959. Fysiikan laitoksen ensimmäinen johtaja, professori Pentti Tuomikoski joutui pohtimaan, millä fysiikan aloilla tutkimus aloitettaisiin. Hän teki matkan pohjoismaisiin yliopistoihin ja innostui kosmisen säteilyn tutkimuksesta vieraillessaan Bergenin yliopistossa Norjassa. Pekka Tanskanen, joka oli vuoden 1961 tammikuussa liittynyt fysiikan laitoksen opetushenkilökuntaan, teki myös samana vuonna vierailun muun muassa Lundin yliopistoon, Norditaan Kööpenhaminaan, Osloon sekä Uppsalan yliopistojen kosmisen säteilyn laitoksille. Näiden tutustumismatkojen jälkeen aloitettiin kosmisen säteilyn havaintolaitteiden suunnittelu ja rakentaminen. Tämä oli ensimmäinen askel avaruustutkimuksen pariin Oulussa.



Pekka Tanskanen (keskellä) esittelee pallomittausten laitteistoja ja vastaanotinasemaa ivalolaiselle äidille ja tyttärelle (oikealla) vuonna 1965. Vasemmalla

insinöörit Palous ja Dignocourt Ranskasta. Mittauskampanjat toteutettiin monikansallisena yhteistyönä (Kangas et al., 1975). (KUVA: Pekka Tanskanen)



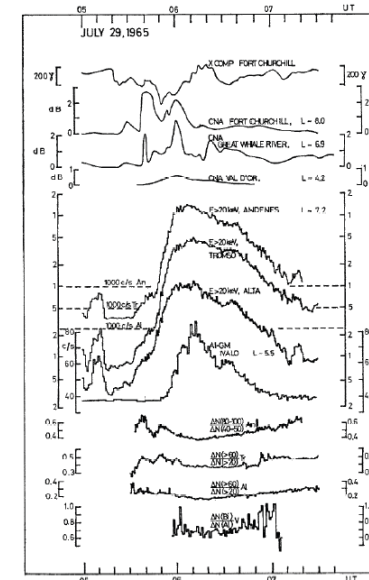
Kansainvälisen COSPAR-järjestön (Committee on Space Research) piirissä alettiin 1960-luvun alussa suunnitella kansainvälistä ohjelmaa Auringosta tulevien korkeaenergistien hiukkasten mittaamiseksi. Jean-Pierre Legrandin (Laboratoire de Physique Cosmique, Meudon, Pariisi) kutsusta kokoontui vuonna 1961 useita avaruusalan tutkijoita Pariisiin keskustelemaan Legrandin suunnitelmasta perustaa samalla leveyspiirillä sijaitseva ketju asemia, joilta samanaikaisesti lähetettäisiin stratosfääripalloja, ja joihin sijoitetuilla laitteilla tehtäisiin havaintoja Auringosta peräisin olevista hiukkasista. Toisen vuonna 1961 pidetyn kokouksen yhteydessä päätettiin perustaa uusi järjestö, jonka nimeksi valittiin Solar Particles and Radiation Monitoring Organization (SPARMO). Järjestön ensimmäiseksi presidentiksi valittiin professori Alfred Ehmert Max-Planck-Institut für Stratosphärenphysik, Lindau, Saksa. Sen sihteeriksi valittiin Jean-Pierre Legrand.

Myöhemmin, palloluotausten tavoitteiden laajennuttua käsittämään sekä hiukkas- että säteilymittaukset stratosfäärissä, nimi muuttui muotoon SBARMO (Scientific Ballooning and Radiation Monitoring Organization).

Pekka Tanskanen, Erkki Rahkamaa ja Jorma Kangas tekivät kesällä 1964 vierailun Lofootelle Norjaan, Andenesiin, jossa professori John Wincklerin ryhmä (University of Minnesota, USA) yhdessä Bergenin yliopiston, professori Harald Trefallin johtaman ryhmän kanssa tekivät pallomittauksia. Saimme ensivaikutelman toiminnasta. Myöhemmin vuonna 1964 Oulun yliopiston fysiikan laitos liittyi SPARMO-järjestöön ja maksoi järjestön vakinaiselle jäsenyhdistykselle sovitun jäsenmaksun 700 Ranskan frangia.

Pekka Tanskanen vierailtua Max Planck -instituutissa (Lindau) ja laitoksen johtajan, professori Georg Pfozlerin otettua yhteyttä Juhani Oksmaniin Sodankylän observatorioon vuoden 1965 alussa oululainen tutkijaryhmä lähti mukaan pallomittauksiin, aluksi yhteistyössä ranskalaisen tutkimuslaitoksen Laboratoire de Physique Cosmiquen kanssa. Ranskalaiset vastasivat kaikista teknisistä välineistä ja suomalaisryhmän vastuulle tuli lähinnä käytännön asioiden järjestely, muun muassa pallojen täyttökaasun hankkiminen, lähetyspaikan ja aseman sekä asuntojen vuokraaminen. Suomalaisryhmä osallistui myös pallomittauslaitteiden signaalien vastaanottotyöhön.

Ensimmäinen mittauskampanja järjestettiin kesällä 1965. Havaintoasema pystytettiin Ivalon kansakoululle, jossa silloin toimi opettajana fysiikan opiskelija Erkki Ravolan äiti. Hänen ystävällisellä myötävaikutuksellaan onnistuimme ”valloittamaan” koulun, kun oppilaat olivat kesälomilla. Aseman toimintaan osallistui ranskalaisten lisäksi Oulun yliopiston tutkijoita Pekka Tanskanen johdolla ja Sodankylän geofysiikan observatorion henkilökuntaa Juhani Oksmanin johdolla. Sodankyläläisten tekniikan osaaminen ja paikallisten olojen tuntemus olivat erinomaisen tärkeitä mittausten onnistumisen kannalta. Ensimmäinen vetypallon kuljettama mittauslaite nousi Lapin taivaalle 24.7.1965. Yhteistyö ranskalaisten kanssa jatkui koko 1960-luvun. 1970-luvulla mittauksia tehtiin Suomessa ruotsalaisten kanssa (KTH, Kungliga Tekniska Högskolan, Tukholma). Viimeiset palloluotaukset Suomessa tehtiin vuonna 1979.



Esimerkki vuonna 1965 tehdystä röntgensäteilyn pallohavainnoista stratosfäärissä (keskellä) pienehkön alimyrskyn aikana. Pallojen lähetyspaikat olivat Norjassa ja Suomessa (Ivalo). Yllänä on magneettikentän havaintoja ja riometrituloksia Kanadasta (Fort Churchill). Tutkimuksessa vertailtiin magnetosfäärin tilaa aamu- ja yösektorin välillä, Skandinavian ja Kanadan alueilla (Kangas et al., 1975).

Luotauspallon täyttö Sodankylän Pittiövaaran lähellä sijaitsevalla sorakuopalla vuonna 1974. Kaasuhanan käyttäjänä on Tauno Turunen. (Kuva: Pekka Tanskanen)

Palloluotainta kuljetetaan Pittiövaaran lähetyspaikalle vuonna 1974. Kantajana Ulf Fahleson Tukholmasta ja avustajana Pekka Tanskanen. (Kuva: Pekka Tanskanen)



## Tutkimuksen kohteet ja SPARMO:n rooli

Ilmakehä vaimentaa avaruudesta tulevaa säteilyä, ja primaarisäteilyn tutkimiseksi mittauslaitteet on nostettava maanpinnalta mahdollisimman korkealle. On käytetty monia tekniikoita: kaasutäytteiset pallot, lentokoneet, raketit ja satelliitit sekä sijoittamalla maa-asemat korkealle vuoristoon. Kaasupalloja käytettiin jo 1900-luvun alkupuolella, jolloin itävaltalainen Victor Hess (1883–1964) osoitti pallokokeillaan, että ilman ionisaatio lisääntyy siirryttäessä ilmakehän ylempiin osiin, eli hän ”löysi” kosmisen säteilyn. Vuonna 1936 hän sai havainnoistaan jaetun fysiikan Nobel-palkinnon.

Auringon voimakkaimmissa soihtupurkauksissa esiintyy korkean energian (jopa 10 GeV) protoneja, joita voidaan havaita maan pinnalla olevilla neutronimonitoreilla. Tavanomaisissa suurissa purkauksissa protonien energiat ovat kymmeniä MeV, ja tällaiset protonit voidaan havaita ilmakehän ylemmissä kerroksissa.

Amerikkalaiset Van Allen, Winckler ja Andersson havaitsivat pallomittauksillaan 1950-luvulla, että revontulien yhteydessä syntyy myös röntgensäteilyä, joka voidaan havaita 30–40 kilometrin korkeudella eli noin 10–5 millibaarin ilmanpainetasolla. He päättelivät, että revontulien yhteydessä ilmakehään syöksyy myös korkean energian elektroneja, ja että revontulia synnyttävät muutaman keV elektronit pysähtyvät noin 100 kilometrin korkeuteen. Pallomittaukset saattoivat siten antaa uutta tietoa revontulia synnyttävistä elektroneista ja niiden energiaominaisuuksista.

Kansainvälisen geofysiikan vuoden (IGY) mittauksen perusteella käsityksemme revontulista muuttuivat monella tavalla. Tärkeimpiä tuloksia oli havainto siitä, että revontulihäiriö kehittyi tiettyjen vaiheiden kautta, josta syntyy niin sanottu revontulialimyrsky. Se kestää yleensä tunnin verran, ja tällainen häiriö voi toistua saman yön aikana useamman kerran noudattaen samaa alimyrskyn esiintymisen kaavaa. Pidettiin tärkeänä, että revontulia synnyttävien hiukkasten ominaisuuksia tutkittaisiin laajasti. Pallomittaukset tarjosivat hyvän keinon laajentaa tavanomaisia revontulitutkimuksia.

SPARMO-järjestön perustaminen sattui sopivaan aikaan, ja suomalaisen tutkijaryhmän mukaanmeno tapahtui ”kreivin aikaan”. Tutkimuksen kohteeksi tulivat Auringon protonisuihkut ja revontulialueen röntgensäteily. Järjestön edustajat korostivat pallomittauksen muutamia etuja raketti- ja satelliittimittauksiin verrattuna:

- Pallomittaukset voidaan toteuttaa kohtuullisilla kustannuksilla.
- Pallot liikkuvat hitaasti, joten voidaan erottaa ajalliset ja paikalliset vaihtelut.
- Voidaan organisoida samanaikaisia mittauksia laajalla alueella.
- Pallolaitteiden avulla voidaan tutkia aikaskaalaltaan paljon laajempaa ilmiöiden joukkoa kuin raketeilla ja satelliiteilla. Esimerkiksi alimyrskyn kaikki vaiheet voidaan mitata helposti muuttaman, sopiville paikoille asetettujen pallojen avulla.

Järjestön tehtävät määriteltiin seuraavasti:

1. Eri leveyspiireillä palloluotaimilla tehtyjen Auringosta emittoituvien korkeaenergistien hiukkasten mittausten koordinointi. Tähän lisättiin myöhemmin myös revontulialueella havaitut röntgensäteet.
2. Säteilyjen mittausdetektorien kehittäminen
3. Pitkäaikaisten mittauslentojen toteutus
4. Aurinkopurkausten varoitusjärjestelmän kehittäminen
5. Kvasijatkuvien mittausten tekeminen noin 40 kilometrin korkeudelta, erikoisesti korkeilla leveysasteilla.
6. Toimia neuvoa-antavana elimenä ICSU:n (International Commissions of Scientific Unions) jäsenmaiden tutkijoille.
7. Koordinoida samanaikaisia pallo-, raketti- ja satelliittihavaintoja, järjestää alan tieteellisiä tapaamisia sekä edistää alalla tapahtuvaa julkaisutoimintaa.
8. Edistää kansainvälisten sopimusten syntymistä, koskien pallolennätyksiin.

Varoitusjärjestelmän kehittäminen oli tärkeää sekä aurinkotutkimuksen että mittauskampanjoiden käytännön järjestelyjen kannalta. Meudoniin, Pariisin lähellä sijaitsevaan tähtitieteelliseen observatorioon perustettiin keskus, jossa seurattiin Auringon toiminnan muutoksia ja niiden perusteella laaditut Auringon aktiivisuusennusteet lähetettiin päivittäin telekirjoittimella pallomittausasemille.

Vuodesta 1971 alkaen Pekka Tanskanen oli yhteydessä Berkeleyn yliopiston avaruustiedelaboratorioon ja Tanskan Meteorologiseen laitokseen sekä Tukholman teknilliseen korkeakouluun (KTH) tarkoituksena lisätä pallomittauslaitteisiin sähkökenttää mittaava laite. Professori Forrest Mozer Berkeleyn yliopiston avaruustutkimuslaboratoriosta oli alan tunnettu pioneeri, joka oli tehnyt tällaisia mittauksia ja jolla oli monenlaista yhteistyötä KTH:n kanssa. Hän vieraili Oulussa vuonna 1973, ja pienimuotoinen koelennätys tehtiin samana vuonna Sodankylässä. Sähkökenttämittauslaitteita kehitettiin edelleen ja seuraavana vuonna järjestettiin kampanja Sodankylässä. Laitteet mittasivat nyt röntgensäteilyn ohella myös sähkökenttää. Mittauksiin saatiin uusi tärkeä ulottuvuus ja voitiin tutkia muun muassa sähkökentän vaihteluja alimyrskyn aikana.

## Mittauskampanjoiden järjestelyt

Pallomittaukset Suomessa aloitettiin siis yhteistyössä ranskalaisen Laboratoire de Physique Cosmiquen kanssa vuonna 1965. Jean-Pierre Legrandin johtaman ryhmän kanssa oli sovittu, että he tuovat Suomeen säteilyn mittauslaitteet, vastaanottojärjestelmän antennineen ja pallot. Suo-

malaisten osuudeksi jäi tarvittavien lupien hankinta, mittauspaikan järjestelyt ja vetykaasun toimitusten valmistelut ja varmistaminen sekä osallistuminen mittausten seurantaan ja jälkeensä tieteelliseen tutkimukseen. Vety tuotiin Sodankylään kuorma-autoilla Woikosken kaasutehtailta. Ranskalaiset saapuivat hyvissä ajoin, sillä paikalla piti tehdä mm. detektoreiden kalibrointeja ja elektroniikan tarkistuksia. Ilmavalvonnan kanssa oli sovittava pallojen lähettämisaikatauluista lentoliikenteen turvallisuuden takia. Se tapahtui siten, että ennen suunniteltuja luotauksia otettiin yhteyttä Rovaniemen lentoaseman lennonvalvontaan ja kerrottiin luotausaikatauluista. Myöhemmin, ennen pallon lähetystä, annettiin lopullinen ilmoitus luotauksesta. Kommunikointiin käytettiin lankapuhelinta sekä kaukokirjoitinta. Palloihin oli liitetty tutkaheijastin niiden paikantamiseksi, joten palloja pystyttiin seuraamaan ilmavalvontatutkien avulla.

Kuten edellä on selostettu, mittaukset aloitettiin Ivalossa. Ensimmäinen, historiallinen luotaus tehtiin 24.7.1965. Ivalosta tehtiin kaikkiaan 24 luotauksia. Syyskuun alussa mittaukset siirrettiin Sodankylään, josta tehtiin vielä 5 luotauksia. Samanaikaisia luotauksia tehtiin Kiirunasta (saksalainen ryhmä) ja Andenesista (norjalainen ryhmä).

Kampanjan päätteeksi järjestettiin Ivalon ainoassa hotellissa olosuhteisiin nähden varsin näyttävät illallisjuhlat, joissa nautittiin paikalle hankittuja rapuja sekä paikallisena herkkuna poronkärjistä puolukkahilloineen ja muine lisukkeineen. ”Marskin maljojakin” nostimme hyvin sujuneen kampanjan ja alkaneen yhteistyön kunniaksi. Viinihankinnoista vastasivat ranskalaiset kumppanimme, ja illan päätteeksi oli tarjolla saunomista aidoissa lappilaisissa puitteissa.

Seuraavana vuonna mittaukset tehtiin Sodankylästä Kitisen sahan alueelta, joka oli Sodankylän geofysiikan observatorion lähellä joen vastakkaisella puolella. Luotauksia tehtiin 25 kertaa 4.7. ja 18.8. välisenä aikana. Luotauspaikka raivattiin sahan alueella sijaitsevalle, matalaa mäntytaimistoa kasvavalle alueelle. Vanhan sahan yläkerta toimi sekä havaintoasemana että projektiin osallistuvien tilapäisenä majoituspaikkana. Näin saatoimme minimoida myös omia henkilökohtaisia kulumme, toki mukavuuden kustannuksella. Sääskien ja mäkäräisten määrää emme koskaan mitanneet, mutta arviolta niitä oli kohtalaisen paljon.

Seuraavana vuonna 1967 mittausasema pystytettiin Sodankylän kansanopiston tiloihin, ja luotauksia tehtiin 24 kesäkuun alun ja 11.8. välisenä aikana. Tästä kampanjasta on jäänyt mieleen yksi hieman nolo tapaus: pallon matkaan tarkoitettu mittauslaite oli jäänyt kytkemättä kiinni itse palloon, ja niin pallo nousi komeasti taivaalle kantaen mukanaan pelkän tutkaheijastimen, joka vielä pitkään näkyi yöllisellä taivaalla. Pian tämän lähetysten perään lähti sitten onnistuneesti toinenkin pallo, jossa oli mukana myös mittalaitteet. Päätimme pitää tapahtuneen kömmähdyksen omana tietonamme, emmekä ole varmoja, saiko Jean-Pierre Legrand koskaan tietää tapahtumasta mitään.

Seuraava kampanja järjestettiin vuonna 1968, jolloin mittausasema oli jälleen Kitisen sahan alueella. Vähäisen Auringon aktiivisuuden takia tehtiin vain viisi luotauksia 15.6. ja 22.7. välisenä aikana. Viimeinen ranskalais-suomalainen mittausjakso toteutettiin viikon aikana juuri ennen

juhannusta vuonna 1970, jolloin tehtiin seitsemän luotauksia. Mittausasema oli nytkin Kitisen sahan tiloissa. Vuosien 1968 ja 1970 kampanjat toteutettiin puhtaasti suomalaisin voimin.

Sähkökenttämittauslaitteita testattiin ensimmäisen kerran Sodankylässä vuonna 1973, ja seuraavana vuonna 10.–16.8. oli laajempi, kuuden luotauksen kampanja. Mittaukset tehtiin yhteistyössä KTH:n kanssa. Mittausasema sijaitsi SGO:n Pittiövaaran sivuasemalla ja luotaukset tapahtuivat vaaran alapuolella sijaitsevalla sora- ja soramontun alueella. Lähtöä oli seuraamassa muiden muassa KTH:n professori Carl-Gunne Fälthammar perhejäsenenineen, sekä KTH:n tutkija Ulf Fahleson. Hyvä olikin, että meillä oli sillä hetkellä ylimääräisiä käsiä käytettävissämme, sillä pallon täytön aikana tuuli arvaamatta kääntyi ja jouduimme nopeasti muuttamaan luotausuuntaa. Siihen tarvittiin kaikki liikenevät kädet, kun laaja muovipeite ja vielä täyttymätön pallo piti siirtää uuteen lähtöasentoon.

Sähkömittauslaitteissa ilmeni ongelmia. Laitteita kehitettiin edelleen tarkoituksena järjestää kansainvälinen kampanja vuonna 1977 osana laajempaa IMS-projektia (International Magnetospheric Study) sekä liittyen eurooppalaisen GEOS-satelliitin mittauksiin. GEOS-1 ei kuitenkaan asettunut aiotulle radalle, joten pallomittauskampanjaa siirrettiin odottamaan GEOS-2:n laukaisua, mikä tapahtui 14.7.1978.

Kampanja toteutettiin lopulta vuonna 1979. Mittaukset voitiin tehdä geostationaarisen satelliitin konjugaattialueella, ja niihin osallistui 8 laitosta. Vastaanottoasemia sijoitettiin nyt myös Islantiin ja Grönlantiin, jotta signaalien vastaanottoa voitiin jatkaa mahdollisimman pitkään. Suomessa mittaukset aloitettiin Oulussa, jossa asema oli Linnanmaalla. Luotauksia tehtiin viisi 6.–22.6. välisenä aikana. Oulusta lähetetyt pallot ajelehtivat liiaksi etelään, ja asema siirrettiin Sodankylään, jossa mittauksia jatkettiin saksalaisen Max Planck -instituutin ryhmän kanssa. Sodankylästä tehtiin kaikkiaan 12 luotauksia, ja kampanja päättyi 9.7.

Kuten edellä esitetystä käy ilmi, mittaukset tehtiin aina kesäaikaan, jolloin ylätuulet 30–40 kilometrin korkeudella suuntautuvat länteen noin 20 km/h nopeudella. Kun läntinen vastaanottoasema sijaitsi Lofoteilla, sieltä käsin voitiin palloja seurata jopa yli kaksi vuorokautta. Andenesin asema olikin pääasiallinen vastaanottoasema, vaikka kaikki asemat seurasivat omia pallojaan myös omilta asemiltaan. Mittaukset lopetettiin elokuun puolivälin paikkeilla, jolloin ylätuulet kääntyivät itäisiksi.

Kun vuonna 1965 mittauksia erehdyksessä ja asiasta tietämättöminä jatkettiin syyskuussa, pallot jäivät aluksi leijaillemaan asemamme yläpuolella kuin paikalliset tähdet, mutta ajautuivat myöhemmin Neuvostoliiton ilmatilaan. Siitä oli seurauksena Neuvostoliiton Suomelle lähettämä nootti. Neuvostoliitto katsoi pallojen vaarantaneen lentoliikennettä heidän alueellaan. Asiassa jouduttiin kirjelmöimään, ja piti antaa lupaus, että jokaisesta tulevasta luotauksesta informoidaan heitä etukäteen, ja että ranskalaiset ottavat vakuutuksen mahdollisten vahinkojen varalta.

Asian selvittäjäksi kutsuttiin muun muassa Helsingin yliopiston meteorologian professori Lauri Vuorela, joka oli tottunut asioimaan neuvostoliittolaisten virkamiesten kanssa. Nootin loppu-

tuloksena oli se, että luotaukset lopetettiin ylätuulten muuttuessa itäisiksi. On muistettava, että tuolloin elettiin keskellä kylmää sotaa, joten pohjoiset alueet olivat sotilaallisesti kiinnostavia ja arkaluontoisiaakin. Neuvostoliiton sotilastukikohdat Murmanskissa sekä Novaja Zemljan ydin-koealueet sijaitsivat varsin lähellä itään mahdollisesti lentävien pallojen kattavuusalueita.

Pallojen lähettämisestä sovittiin yleensä päivittäin Ranskasta tulleiden Geosol-ennusteiden ja paikallisten magnetometri- ja riometrihavaintojen perusteella. Täysosuma saatiin 6.7.1966, jolloin ennustettiin merkittävää auringonpurkausta. Silloin oli kiirettä Kitisen sahan seutuvilla. Ensimmäinen pallo saatiin lähtemään 6.6. klo 20.06 UT (Universal Time, yleisaika). Pallo saavutti mittauskorkeuden, 7 millibaaria parin tunnin kuluttua ja klo 01.10 laitteet alkoivat havaita protoneja, jotka voitiin liittää Auringon soihtupurkaukseen klo 00.20 UT heinäkuun 7. päivän aamuna. Sodankylä menetti yhteyden palloon 02.30 UT, mutta Andenes jatkoi datan vastaanottoa klo 22.30 UT saakka eli koko purkaus voitiin mitata alusta loppuun. Sodankylästä lähetettiin toinen pallo klo 03.05 UT, mutta se ei päässyt mittauskorkeudelle. Kovalla kiireellä seuraava pallo saatiin liikkeelle klo 05.49, mutta sekin jäi lyhytaikaiseksi. Se mittasi kuitenkin protonipurkauksen loppuosaa klo 11.00 UT saakka. Heinäkuun 7. päivän aikana lähetettiin vielä yksi pallo klo 20.07 UT, mutta aktiivisuus oli jo siihen mennessä laantunut.

Ennusteiden tekemisen vaikeudesta voidaan edellä mainitun onnistuneen tapauksen jälkeen kertoa, että vuoden 1967 kampanjan aikana ei oltu yhtä onnekkaita. Auringon aktiivisuus oli hyvin vähäistä kesä–heinäkuussa, ja ilmeisesti pienikin häiriö Auringossa noteerattiin merkittäväksi Pariisissa. Heinäkuun alkupäivinä saatiin Meudonista viesti, joka ennusti purkauksen olevan tulossa. Käynnistimme samanlaisen operaation kuin vuonna 1966, mutta mitään ei tapahtunut – Auringon hiljaisuus jatkui!

Pallomittaukset herättivät paljon yleistä mielenkiintoa. Olihan kyseessä jotakin aivan uutta Suomessa, ja avaruustutkimus oli muutenkin näyttävästi esillä. Vuoden 1965 mittauskampanjasta Ivalossa oli laaja artikkeli Viikkosanomat -nimisessä aikakauslehdessä, ja vuoden 1967 luotauksia Sodankylän kansanopiston pihalla oli kuvaamassa Yleisradion TV-kamerat. Monia juttuja ilmestyi sanomalehdissä, joissa ihmeteltiin outoa valoilmioita Lapin taivaalla Auringonvalon heijastuessa 5000 kuutiometrin muovipallosta.

Seuraava tarina sopii tulla tässä yhteydessä mainittua. Oli syyskuinen ilta 1965. Olin (P.T.) tulossa autolla Sodankylästä Ouluun, kun satuin kuulemaan radiosta uutisen Kuopion tienoilla nähdystä ufosta, jota jopa Kuopion Rissalan kentälle sijoitetut MIG-21 hävittäjät oli komennettu ampumaan alas. Minulle selvisi heti, että kyseessä olivat meidän pallomme, jotka ilta-auringon valaistuksessa heijastavat suurelta muovipinnaltaan valoa ja näkyvät kuin kirkkaat ilta-tähdet. Nyt oli syytä poiketa Oulun paikallisiradion tiloissa Kirkkokadun Kalevan talossa kertomassa radiokuuluttajille, mitä nämä ufo-ot olivat, ja ettei niitä tule yrittääkään ampumalla hävittää.

Joku erämaassa samoilija saattoi löytää maastosta sinne pudonneen mittauslaitteen. Luotaimessa oli varolaite, joka erotti pallon ja mittauslaitteen, jos pallo ajelehti liian alhaalle. Luotaimen

pudottua pallot nousivat sitten ylös ja hajosivat. Mittauslaitteet laskeutuivat alas laskuvarjon varassa, useimmiten putoamispaikka oli Atlantilla. Pudonneen laitteiston kyljessä oli teksti, jossa luvattiin löytöpalkkio, jos laite palautettaisiin tutkijoille. Ainakin kerran tapahtui, että palautuneen sondin mittalaite lähetettiin myöhemmin uudelle lennolle. Vuosien 1965–1979 varrella palautuneiden laitteiden määrä ei ollut kovin suuri, mutta muistissa on erityisesti sondi, joka palautettiin Alaskasta.

Pallomittauskampanjoihin tarvittiin paljon väkeä. Kaikki valmistelut, testaukset ja vastaanoton valvonta pitivät ryhmän työssä vuorokauden ympäri. Vilkkaimpina aikoina palloja lähetettiin päivittäin. Alkuvuosina ranskalaisten teknikoiden merkitys oli tietysti suuri, mutta pian selvittiin yksin suomalaisin voimin. Jalkeilla olivat usein melkein kaikki Oulun yliopiston fysiikan laitoksen tutkijat ja Sodankylän geofysiikan observatorion väki. Joskus saattoi olla hermot kireällä, kun laitteet eivät toimineet halutulla tavalla.

## Tutkimusyhteistyö

Avaruustutkimus on ala, jossa kansainvälisen yhteistyön välttämättömyys on ymmärretty jo varhain. Polaarivuosisien järjestäminen ja observatorioiden perustaminen eri puolille maailmaa koodinoidusti aloitettiin jo 1800-luvulla. Monien kansainvälisten organisaatioiden (esim. IUGG = International Union of Geodesy and Geophysics, COSPAR, ESA = European Space Agency jne.) perustaminen ja laajojen yhteistyöprojektien järjestäminen (esimerkiksi IGY, IMS jne.) sekä satelliittiyhteistyö ovat monin tavoin edistäneet avaruustutkimusta 1900-luvulla.

Kansainvälisyys oivallettiin heti, kun avaruustutkimusta aloiteltiin Oulussa. Hyvät yhteydet Sodankylän geofysiikan observatorioon, jolla oli jo monien kymmenien vuosien mittainen kokemus kansainvälisestä yhteistyöstä, olivat arvokas tuki. Osallistumista kansainvälisiin alan kokouksiin tuettiin myös kaikin tavoin silloisista vähistä resursseista huolimatta.

SPARMO-järjestön toimintaan osallistuminen avasi monia tärkeitä yhteistyön kanavia. Monivuotisina yhteistyökumppaneina olivat Laboratoire de Physique Cosmique (Meudon, Ranska), Max-Planck instituutti (Lindau, Saksan liittotasavalta), Bergenin yliopisto (Bergen, Norja), Alfvén Laboratory, KTH (Tukholma, Ruotsi), Geofysiska Observatorium (Kiiruna, Ruotsi), Technical University (Graz, Itävalta) ja Danish Space Research Institute (Lyngby, Tanska). Järjestön piirissä valmisteltiin ja sovittiin mittausaikatauluista ja muista käytännön järjestelyistä. Järjestön hallinto oli minimaalinen ja sitä johti Jean-Pierre Legrand, josta tuli suuri Suomen ystävä. Järjestön yksi kokous pidettiin Oulussa. Suomea edustivat järjestössä Pekka Tanskanen ja Jorma Kangas.

Yhteistyössä kehitettiin myös mittauslaitteita. Perusmittalaitteet olivat kolmesta Geiger-putkesta rakennettu hiukkasilmäisin ja NaI-skintillaatioilmäisin, jossa säteilyn intensiteettiä



voitiin mitata usealla energiakanavalla. Geiger-putkista saatiin signaali yksittäisistä putkista ja kolmen putken muodostamasta teleskoopista. Nämä laitteet suunniteltiin pääosin Max-Planck -instituutissa. Sähkömittauslaitteita kehitettiin monen laitoksen kanssa yhteistyössä, suomalaiset lähinnä ruotsalaisten kanssa.

Näiden lisäksi käytettiin ja kokeiltiin monia muitakin mittalaitteita, ja täydellisimmillään sondi oli vuoden 1979 kampanjan aikana, jolloin niin sanotussa MEP (Multi-Experiment Payload)-sondissa oli skintillaattoridetektori, joka mittasi säteilyä useammasta suunnasta, sähkökentän mittauslaite, magnetometri ja VLF-antenni. Tällaisen komeuden nostamiseksi riittävän korkealle tarvittiin 36 800 kuutiometrin vetypallo. Oulun ja Tukholman ryhmien sondeissa oli vain perinteinen skintillaattoridetektorit ja sähkökenttämittauslaite, joka koostui neljästä neljän metrin etäisyyksillä olleista elektrodeista

SPARMO-ryhmät kokoontuivat mittauskampanjoiden jälkeen moniin tieteellisiin kokouksiin. Kukin ryhmä analysoi datansa, ja niitä kokoonnuttiin tutkimaan ja yhdistelemään, vuoroin eri ryhmien kotilaitoksissa. Kokouksissa sovittiin työnjaosta eli miten analyysia jatkettiin ja miten tieteellisten julkaisujen viimeistely tehtiin. Sovittiin myös tulosten esittelystä kansainvälisissä kokouksissa.

Yhteiseksi tutkimusteemaksi kehittyi hyvin pian magneettisten myrskyjen aikana revontulialueella havaittavien elektronivirtausten synnyttämien röntgensäteiden ja sähkökenttien vaihtelut ja erityisesti alimyrskyjen morfologian selvittäminen. Tutkimuksissa käytettiin hyväksi mm. revontulialueella sijaitsevien geofysiikan observatorioiden tekemiä mittauksia geomagneettisen kentän vaihteluista. Pallomittauskampanjoiden aikana vallitsi hyvin tiivis yhteistyö palloryhmien ja observatorioiden välillä.

Ranskalaisten ja suomalaisten yhteistyö sujui yleensä ongelmitta. Kieliongelmatkaan eivät olleet ylitsepääsemättömiä. Suomessa tehtyjen mittausten datat analysoitiin pääosin Meudonissa. Yhteistyö voimistui merkittävästi, kun ranskalaiset tarjosivat suomalaiselle tutkijalle Joliot-Curie -järjestön apurahan työskentelyä varten Pariisissa. Jorma Kangas otti haasteen vastaan ja lähti Ranskaan syyskuussa 1966 ja palasi takaisin Ouluun tammikuussa 1968. Hän kävi vielä Meudonissa keräämässä havaintoaineistoja keväällä 1968, jolloin Laboratoire de Physique Cosmiquen toiminta organisoitiin uudella tavalla.

## Loppusanat

Pallomittausten kulta-aika sattui 1960- ja 1970-luvuille. Sen jälkeen uusia laajoja mittauskampanjoita ei enää järjestetty, vaikka joitakin ehdotuksia tehtiin eräisiin satelliittiohjelmiin liittyen. Kuitenkin ainakin norjalaiset jatkoivat muutamia erityismittauksia. Suurin osa tutkijoista siirtyi seuraavaan vaiheeseen eli satelliittimittauksiin. Muun muassa laaja Cluster-satelliittihanke käynnistyi 1980-luvulla.

Oulun yliopiston avaruustutkimusohjelman kannalta osallistuminen SPARMO-toimintaan aivan alkuvaiheessa oli epäilemättä onnistunut ratkaisu. Se oli niin sanottu köyhän miehen ratkaisu. Pääsimme mukaan merkittävään kansainväliseen toimintaan pienillä resursseilla: ranskalaiset rahoittivat suuren osan toiminnasta. Suomalaisten rahoitusosuus kasvoi 1970-luvulla, kun kehitettiin uusia mittauslaitteita. Suomen Akatemia rahoitti suomalaista mittausohjelmaa monella tavalla.

Ehkä suurin merkitys oli sillä, että loimme yhteyksiä moniin johtaviin avaruustutkimuksen keskuksiin. Syntyneet kontaktit ja tutkijoiden saama kokemus olivat arvaamattoman tärkeitä, kun alettiin hakeutua satelliittiohjelmiin. Eräs tärkeä seuraus oli, että pallomittausten yhteydessä tutuksi tullut professori Gerhard Kremser Max-Planck -instituutista innostui tulemaan Ouluun vierailevaksi professoriksi useaksi vuodeksi. Hänen asiantuntemuksensa oli arvokas muun muassa Oulun Cluster-satelliittihankkeeseen osallistumisen kannalta.

Pallomittausten alkaminen ja osallistuminen laajaan kansainväliseen projektiin olivat merkittäviä askelia suomalaisessa avaruustutkimuksessa. Toiminta oli tärkeää myös siinä mielessä, että mittausten toteutus oli Oulun yliopiston tutkijoiden ja Sodankylän geofysiikan observatorion ensimmäinen konkreettinen yhteinen hanke. Näin luotiin perusta tulevalle monipuoliselle yhteistyölle, joka on vahvistunut vuosien kuluessa.

# 2.14

## KOSMINEN SÄTEILY

Pekka Tanskanen ja Ilya Usoskin

### Johdanto

Kosmisen säteilyn tutkimuksessa käytetään termejä primäärinen ja sekundaarinen kosminen säteily. Primäärinen säteily tarkoittaa kosmisiä hiukkasia, jotka saapuvat Maan ulkopuolelta. Maapallon ilmakehään osuu noin 1000 kosmista hiukkasta sekunnissa neliometriä kohden. Osa kosmisesta säteilystä on peräisin Auringosta, mutta suurienergisen osa tulee kauempaa, muun muassa supernovaräjähdyksistä ja oman linnunratajärjestelmän ulkopuoleltakin. Kosminen säteily on isotrooppista eli sitä tulee tasaisesti joka puolelta avaruudesta.

Maanpinnalla mittaavat laitteet havaitsevat avaruudesta ylempään ilmakehään iskeytyvien, lähinnä protonien ( $p$ ) ja alfahiukkasten ( $\alpha$ ) törmäyksissä ilmakehän happi- ja typpi-atomeihin ja -molekyyleihin syntyneitä sekundäärihiukkasia. Prosessissa syntyneet myonit ( $\mu^+$  tai  $\mu^-$ ) (kova komponentti) ja hitaat neutronit ( $n$ ) (nukleonikomponentti) voidaan havaita maanpinnalla.

Suomessa Turun yliopistossa tutkitaan etenkin Auringosta sinkoutuneita kosmisiä säteitä ja Oulun yliopistossa Auringon toiminnan vaikutuksia aurinkokunnan ulkopuolelta tuleviin kosmisiin säteisiin.

### Avaruussäteilyn kova komponentti – mesoniteleskooppi

Mesoniteleskooppi mittaa avaruussäteilyn kovaa komponenttia, joka koostuu pääosin myoneista. Laite mittaa säteilyä, joka tulee määrätystä avaruuskulmasta.

Ensimmäisen mesoniteleskoopin rakentaminen aloitettiin Oulun yliopistossa jo vuonna 1962 fysiikan professori Pentti Tuomikosken johdolla (Usoskin et al., 2009). Sen rakenne muodostui kolmesta, 18 geigerputken muodostamasta päällekkäin sijoitetusta tasosta, joiden läpi kulkeneet avaruudesta tulleet hiukkaset mitattiin. Laitteen rakensi Pekka Tanskanen, joka käytti mittaustuloksia väitöskirjassaan (Tanskanen, 1965).

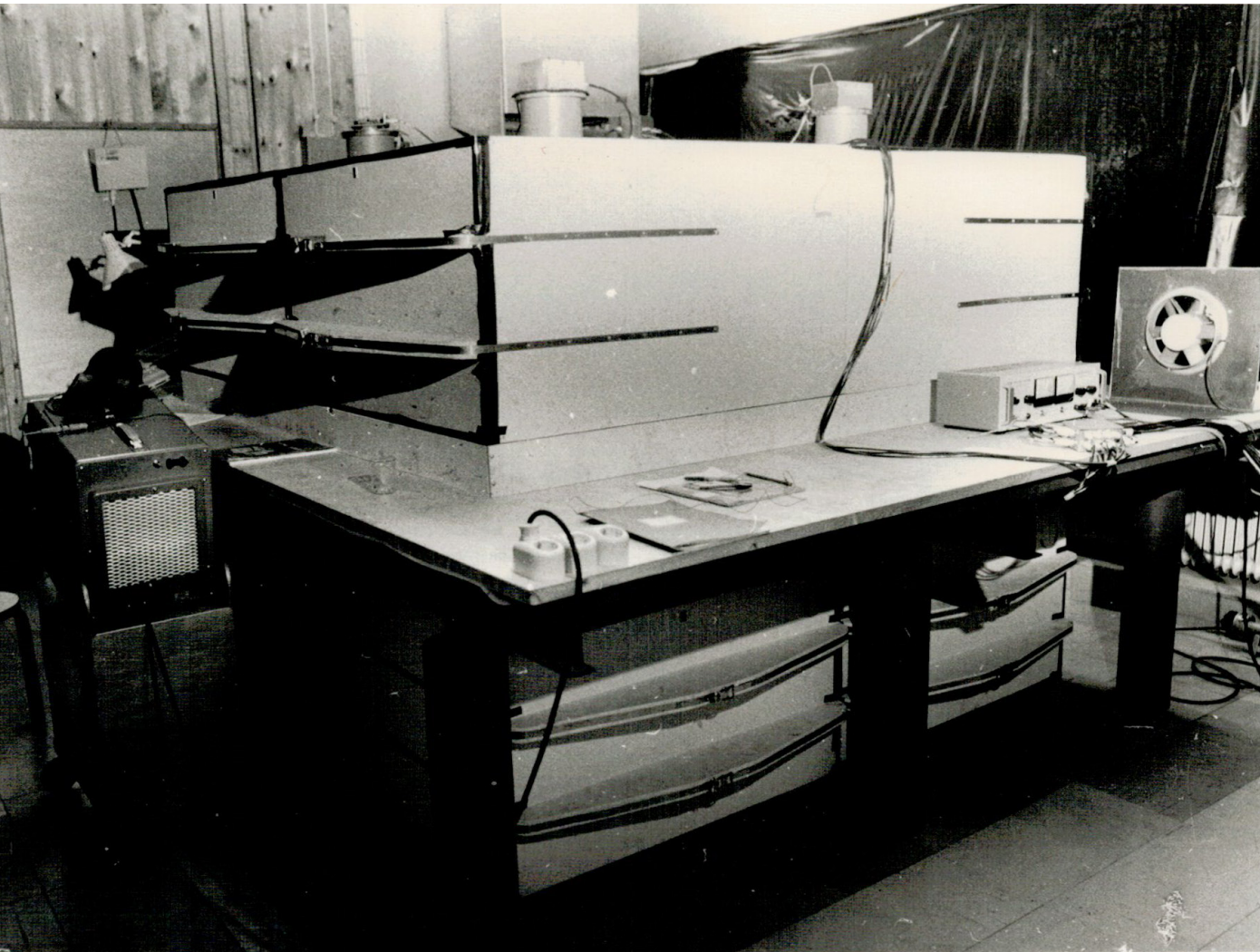
Mesoniteleskoopin alhaisesta laskentataajuudesta ja laitteiston herkkyydestä lämpötilavaihteluille mittaukset jouduttiin lopettamaan jo vuonna 1966. Laitteiston tilalle rakennettiin muovista valmistettuja tuikeilmaisimia käyttävä, suuremmalla laskentataajuudella (noin miljoona pulssia tunnissa) ja tietyistä suunnista mittaava megamesoniteleskooppi. Laitteen rakensivat liseniaattitöinä Hannu Kananen ja Juho Kokkonen. Siihen on tehty pieniä muutoksia, mutta se on ollut toiminnassa vuodesta 1968 lähtien.

Teleskooppityyppisen mittaussäteilin toiminta perustuu siihen, että hiukkanen tulee havaituksi vain kulkiessaan kahden tai useamman, toisistaan erillään olevan ilmaisimen läpi, joiden sijainti toisiinsa nähden määrää hiukkasen tulosuunnan. Ilmaisimena käytettiin tyyppiä NE-102 olevaa orgaanista tuikemuovia. Megamesoniteleskoopin muodostavat kaksi päällekkäin asetettua ilmaisintasoa, joiden läpi menevän hiukkasen tuikeaineessa aiheuttamat tuikahdukset rekisteröidään valomonistinputkilla. Tuikelevyjen väliin on sijoitettu pehmeän komponentin suodattamista varten lyijylevy, jonka vahvuudeksi standarditeleskoopissa on kansainvälisten suosituksen mukaan valittu 10 senttimetriä.

### Avaruussäteilyn nukleonikomponentti – neutronimonitori

Neutronimonitorilla mitataan ulkoavaruudesta saapuvien korkeaenergistien hiukkasten – protonien ja alfahiukkasten – ja ilmakehän molekyylien välisissä törmäyksissä syntyneitä sekundäärihiukkasia. Nämä ovat lähinnä protoneja ja neutroneja, jotka muodostavat kosmisen säteilyn nukleonikomponentin.

Vuonna 1962 tehtiin Oulun yliopiston fysiikan laitoksella päätös neutronimonitorin rakentamisesta. Monitorityypiksi valittiin samoihin aikoihin Hugh Carmichaelin johdolla Kanadan Chalk Riverin ydintutkimuslaboratoriossa kehitteillä oleva laite, joka sai tunnusnumeron 9-NM-64. Laskentaputkina käytettiin tyyppiä BP 29 olevia BF3-suhteellisuuslaskureita. Putkien lukumäärä oli 9 ja niiden tilavuus on 33 litraa. Jokaista putkea ympäröi 10 cm paksu lyijykerros (neutronien synnyttämiseksi). Kaikki yhdeksän putkea oli suljettu laatikkoon, jota ympäröi 7,5 cm paksu parafiinikerros, joka toimii neutronien hidastimena. Koko laitteen paino oli liki 20 tonnia. Laitteen rakensi ja siihen liittyvän elektroniikan kehitti assistenttina toiminut Sauli Niemi, jonka vuonna 1966 hyväksyty väitöskirja perustui tällä laitteella tehtyihin multiplisiteettimittauksiin (Niemi, 1966).



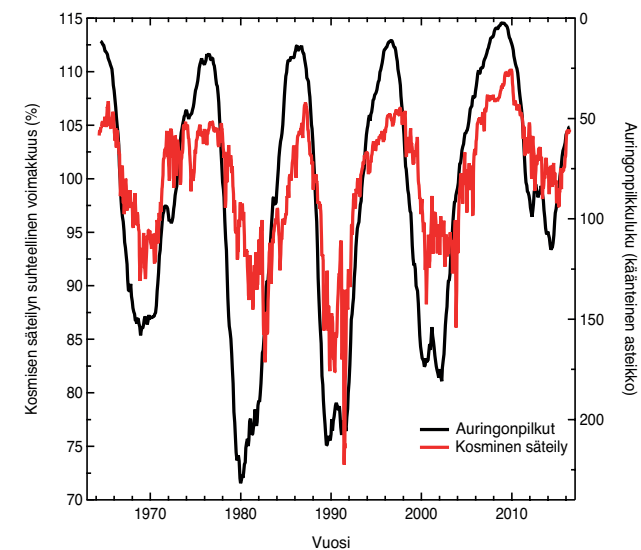
Oulun yliopistossa  
1960-luvun alussa rakennettu  
megamesoniteleskooppi kosmisen  
säteilyn mittauksia varten.  
(Kuva: Pekka Tanskanen)

## Loppulause

Sodankylän geofysiikan observatorio otti vuonna 1998 siipiensä alle Oulun yliopistossa rakennetut ja siellä toimintansa aloittaneet kosmisten säteiden mittausslaitteet, megamesoniteleskoopin ja neutronimonitorin. Samalla pelastui avaruussäteilyn maanpintahavaintojen jatkuvuus Oulussa. Tällä hetkellä Oulu kuuluu kaikista toimivista asemista vanhimpiin. Sen jälkeen kun Pohjois-Euroopasta Kiirunan ja Uppsalan kosmisen säteilyn havainnot lopetettiin, jäljelle jäivät Oulun ja Apatityn asemat.

Kosmisen säteilyn tutkimusryhmän toimintaan kuuluu paitsi aseman hoito myöskin teoreettinen tutkimustyö. Aiheita ovat olleet heliosfäärin aiheuttama modulaatio kosmiseen säteilyyn, Auringon energettiset hiukkaset, kosmisten hiukkasten aiheuttamat fysikaaliset ilmiöt (ionisaatio ja kosmogeennisten isotooppien synty) ilmakehässä. Tutkijat kuuluvat kansalliseen huippuyksikköön ReSolve (Research on Solar Long-Term Variability and Effects) ryhmään, joka on toiminnassa vuoteen 2019 saakka.

Oulun yliopiston kosmisen säteilyn havaintoaseman lisäksi on yliopiston ja Sodankylän geofysiikan observatorion tutkijaryhmä toimittanut neutronimonitorin pienoislaitteen ranskalais-italialaiselle Concordian tutkimusasemalle Etelämantereelle. Se sijaitsee Wilkesin maan ylätasangolla (Dome C) yli 3000 metrin korkeudella merenpinnasta ja noin 1000 kilometriä rannikolta sisämaahan. Asema aloitti toimintansa vuonna 2005.



Oulun yliopiston ja Sodankylän geofysiikan observatorion kosmisen säteilyn mittaustuloksia 1964–2016. Havaintosarja on kestoaltaan eräs kaikkein pisimmistä yhtäjaksoisista kosmisen säteilyn rekisteröinneistä. Punainen viiva on kosmisen säteilyn kuukausikeskiarvo prosentteina keskiarvosta. Musta viiva edustaa auringonpilkkujen määrää. Asteikko on käänteinen. Auringonpilkkujen esiintymisen maksimiaiikoina kosmisen säteilyn intensiteetti on alimmillaan. Kosmisen säteilyn data-arvot: <http://cosmicrays oulu.fi/>. (Kuvio: Heikki Nevanlinna)



5.

---

YHTEISTYÖTAHOJA

# 5.1

## KAKSI OBSERVATORIOTA TÄHTELÄSSÄ

Esko Kyrö

Sodankylän observatoriolla oli perustamisestaan lähtien magneettisen observatorion lisäksi myös meteorologisen havaintoaseman rooli. Vuonna 1949 meteorologiset perushavainnot siirrettiin uuteen aerologiseen observatorioon, joka rakennettiin samalle Tähtelän kankaalle puolen kilometrin päähän Tiedeakatemian observatorion silloisesta päärakennuksesta etelään. Samalla säähavainnot laajennettiin ylemmäs ilmakehään aloittamalla palloluotaukset, joissa Vaisala Oy:n kehittämä mittauslaite, radioluotain, mittasi ja välitti maanpinnalle lämpötila-, kosteus- ja tuulitietoja koko troposfääristä ja stratosfäärin alaosasta, parhaimmillaan yli 20 kilometrin korkeudelta.

Vuodesta 1949 lähtien Tähtelän kankaalla on siis toiminut kaksi observatoriota: Ilmatieteen laitoksen meteorologinen observatorio ja Suomalaisen Tiedeakatemian (myöhemmin Oulun yliopiston) alainen Sodankylän geofysiikan observatorio (SGO). Asemien päätehtävänä on molemmissa tapauksissa ollut jatkuvien ja luotettavien mittausten suorittaminen. Jonkinlaista päänvaivaa aiheutti aluksi sopivien kutsumanimien keksiminen laitoksille, joita voitaisiin hankalien virallisten nimien sijasta käyttää yleisessä viestinnässä. Maallikkojen näkökulmasta tehtäväkentät olivat kuitenkin sen verran lähekkäisiä, että laitokset helposti sekoitettiin toisiinsa. SGO:lta kysyttiin säästä ja Ilmatieteen laitoksen observatorion sääteteknikot saivat reventulikysymyksiä. Vähitellen muutamien harharetkien jälkeen nimeäminen vakiintui niin, että Sodankylän geofysiikan observatoriota alettiin kutsua Tähteläksi ja Ilmatieteen laitoksen

observatoriota Ilmalaksi. Molempien kaimathan esiintyvät myös muualla Suomen kartastossa<sup>41</sup>, mutta Sodankylän ja koko Lapinkin näkökulmasta nämä nimet olivat tarpeeksi ainutlaatuiset käytettäväksi arkipäivän viestinnässä.

Geofysiikan observatorion mittaukset keskittyivät erityisesti Maan magneettikentän ja ionosfäärin ilmiöitä tutkivan geofysiikan tukemiseen, kun taas Ilmatieteen laitoksen observatorio keskittyi operatiivisessa sääpalvelussa tarvittavien suureiden mittaamiseen. Vuosien varrella kertynyt operatiivinen säädata on kuitenkin myöhemmin osoittautunut myös arvokkaaksi ilmastotutkimusaineistoksi. Sodankylän aerologinen luotausaikasarja marraskuusta 1949 eteenpäin on pisin yhtenäinen tietokanta ylilmakehän säätiedoista napapiirin pohjoispuolella, ja sitä on paljon hyödynnetty alan tutkimuksissa (Kivi et al., 1999). Myös Sodankylän normaalien säähavaintojen aikasarja kuuluu pisimpiin Arktiksessa. Se ulottuu taaksepäin aina vuoteen 1908. Aikasarjan homogenisoitu versio on kuvattu Raino Heinon väitöskirjassa (Heino, 1994).

### Yhteistyökuvioita

Varsinaiseen tutkimustoimintaan ei kiinnitetty alussa kovin suurta huomiota, eikä observatorioissa ollut paljoakaan siihen sopivaa henkilökuntaa, siksi yhteistyö aluksi rajoittui käytännöllisiin asioihin, joissa oli luonnollinen tarve yhteiselle suunnittelulle. Teyhteyden uusiminen, vesijohdon vetäminen kankaalle ja myöhemmin viemäroinnin liittäminen kunnan verkkoon jne. ovat vaatineet yhteistä suunnittelua.

Alusta alkaen luotettavan teleliikenteen järjestäminen koko Tähtelän alueelle on ollut tärkeä osa infrastruktuuria. Esimerkiksi ilmatieteelliset havainnot piti muutaman tunnin välein viettää maailmalle sääennustelaskentaa varten. Aikaa myöten tietoliikennetarve kasvoi, ja hyvin tärkeä yhteinen projekti olikin 1990-luvulla yhteyksien päivittäminen vastaamaan kasvaneita datamääriä vetämällä valokuitukaapelit molempiin observatorioihin. Suuren kapasiteetin yhteyksiin saaminen oli ensiaskeleksi esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen myöhemmälle satelliittitoimintojen hajasijoittamiselle Sodankylään.

Laitoksien läheinen sijainti ja samankaltaiset tehtävät ilmakehän ilmiöiden pitkäjänteisessä mittaamisessa johtivat myös yhteistyötä pitemmälle menevien toimintamallien kartoituksiin aikojen saatossa. Kahteenkin otteeseen 1970-luvulla ja toisen kerran 1990-luvun alussa tutkailtiin mahdollisuuksia yhdistää observatoriot Ilmatieteen laitokseen kuuluvaksi suurobservatorioksi. Geofysiikan observatorio pysyi kuitenkin itsenäisenä aina vuoteen 1997 asti, jolloin siitä tuli osa

<sup>41</sup> Ilmala ja Tähtelä esiintyvät noin 30 kertaa paikanniminä Suomessa. Ilmatieteen laitoksen Ilmalan observatorio Helsingin Pasilassa oli toiminnassa 1912–1957. Sen jälkeen havainnot siirrettiin Jokioisiin vuonna 1957, missä toimii myös Ilmalaksi nimetty observatorio Ilmalantiellä.

Oulun yliopistoa erillislaitoksen statuksella (ks. Jorma Kankaan kirjoitus luvussa 1.2).

Ilmalan puolella taas tutkijoiden palkkaus tuli mahdolliseksi vasta 1990-luvun alussa otsonitutkimukseen myönnetyn kansallisen ja EU-rahoituksen turvin. Tätä toimintaa veti Pentti Rapelin jälkeen 1986 johtoon astunut Esko Kyrö, Oulun yliopiston kasvatti, kuten useimmat SGO:n akateemiset työntekijätkin olivat. Alustava suunnitelma olikin, että uusi johtaja rupeaisi yhteistyöhön Sodankylän geofysiikan observatorion EISCAT-tutkijoiden kanssa. Näissä merkeissä käytiin elokuussa 1986 Tromssan EISCAT-kesäkoulussa ja myöhemmin syksyllä osallistuttiin tutkakokeiden valvontaan Sodankylän EISCAT-asemalla. Maailmalla ilmatieteellistä keskustelua alkoi kuitenkin hallita samoihin aikoihin uusi sensaatiomainen löytö, jonka brittiläiset tutkijat olivat dokumentoineet toukokuussa 1985 Nature-lehdessä (Farman et al., 1985). Etelämanteerien stratosfäärissä kehittyi paikallisen kevään aikana otsonikerrokseen valtava ohentuma, jonka syntyä kukaan ei osannut ennakoida saati selittää. Niinpä melko pian Ilmatieteen laitoksella päätettiin siihen, että napa-alueiden otsonikerroksen tutkiminen sopisi revontulitutkimustakin paremmin arktisen ilmatieteellisen observatorion johtajan rooliin. Otsonitutkimus ja siihen liittyvä ultravioletisäteilyn spektroskopia muutti perusteellisella tavalla Sodankylän Ilmalan toimintoja ja profilia 1980-luvun lopulta lähtien.

Noin vuosikymmen myöhemmin 1990-luvun lopussa saatiin Lapin liiton ja Tekesin rahoitusta Euroopan avaruusjärjestön ESA:n ympäristösatelliittiohjelmaan, jolla rakennettiin Sodankylään prosessointialusta GOMOS-ilmakehäluotaimelle. Prosessointialustan samoin kuin itse GOMOS-instrumentin ideoinnissa ja rakentamisessa suomalaistutkijoilla ja -firmoilla oli merkittävä osuus. Operatiivisen dataproessoinnin alkaessa 2000-luvun alussa rahoitus alkoi tulla suoraan Euroopan avaruusjärjestöltä, mikä tuki merkittävästi paitsi operatiivista toimintaa myös Ilmalan tutkimushenkilökunnan ylläpitoa. Reilun vuosikymmenen kestänyttä CoPAC-projektia johti menestyksellä Osmo Aulamo.

Seuraava suuri harppaus tapahtui Jouni Pulliaisen tullessa Ilmalan johtoon 2006 TKK:n avaruustekniikan osastolta, jonka erityisosaamiseen kuului pohjoiselle observatoriolle hyvin sopiva lumipeitteen kaukokartoitus. Lumipeitteen laatu, laajuus ja kesto ovat herkkiä ilmastomuutoksen indikaattoreita. TKK:lla oli vanhastaan ollut tällä alalla kenttäkokeita Sodankylässä, jolloin ne oli tehty SGO:n puitteissa. Nyt luonnollisesti kaukokartoitustekniikoiden validointi siirtyi Ilmatieteen laitoksen puolelle. Samalla tapahtui sekä laadullinen, että määrällinen hyppäys Ilmalan satelliittitoiminnoissa. Kryosfäärin kaukokartoituksesta tuli suurin ulkopuolisen rahoituksen lähde, minkä turvin Sodankylään voitiin palkata useita lumipeitteen ja ilmakehämittausten jatko-opiskelijoita. Samalla saatettiin loppuun ”Sodankylä Super Site”, satelliittien validointijärjestelmä, jonka rakentaminen oli alkanut jo 1990-luvulla otsonisatelliittien mittaustarkkuuksien varmentamisena. Mahtipontinen nimi on hyvin ansaittu, sillä maailmassa ei liene montaa tutkimusasemaa, joka mittaisi yhtä monipuolisesti maanpinnan ja ilmakehän ominaisuuksia.

Kenties merkittävin 1990-luvun tapahtumista valtakunnallisesti oli Suomen liittyminen

vuonna 1995 Euroopan unioniin. Kun EU:lla, tieteellisen puiteohjelman lisäksi, on varsin huomattava alueellisen kehittämisen ohjelma, ja kun samoihin aikoihin valtion budjetin päätösvaltaa aluekehitysasioissa hajautettiin maakuntiin, alkoivat uudet trendit näkyä Lapissakin lukuisien aluekehitysprojektien syntymisenä. Tämä heijastui myös Tähtelän alueen observatorioiden toimintaan. Kuntaan perustettiin Astropolis-yhtiö Sodankylän elinkeinojen kehittämisen moottoriksi. Kunnan taholta selvästi odotettiin merkittävää panosta alueen laitoksilta. Erityisesti Markku Lehtisen kehittämiin inversiomenetelmiin asetettiin suuria odotuksia ja geofysiikan observatoriossa syntynyt oheisyritys Invers Oy saikin varsin keskeisen osan Astropoliksen kehitysprojekteista. Myös Ilmatieteen laitos näki lupaavia yhteistyömahdollisuuksia uusissa inversiomenetelmissä. Kun syyskuussa 2000 Luostotunturin laelle valmistui moderni säätutka, järjestettiin Invers Oy:lle itsenäinen yhteys tutkalle, mikä mahdollisti uusien tutkamenetelmien kokeillun operatiiviseen toimintaan puuttumatta. Kokeiluissa saatiinkin lupaavia tuloksia, mutta operatiivisiin ohjelmitoihin menetelmät eivät kuitenkaan koskaan edenneet.

Vuosituhanneen vaihteen lähestyessä perinteisen observatoriotyön rinnalle kasvanut projektitutkimus oli paisuttanut toiminnan volyymia molemmissa observatorioissa. Katsottiin, että silloiset toimitilat eivät enää palvelleet riittävästi lisääntyneen tilan tarvetta. Varsinkin Ilmatieteen laitoksen puolella suorastaan kärsittiin vanhanaikaisista 1950-luvun tarpeisiin rakennetuista toimistotiloista. Syntyi ajatus uudesta yhteisestä päärakennuksesta, johon tulisivat toimistotilat ja kunnollinen luentosali, jollaista Tähtelän alueella ei aiemmin ollutkaan. Alunperin suunnitelma oli tarkoitus toteuttaa Astropolis-vetoisena, mutta ne hartioidettiin pian liian kapeiksi ja lopullinen toteuttaja oli Senaatti-kiinteistöt. Talon suunnittelutyö tehtiin Oulun yliopiston arkkitehtuurin osaston Puustudiolla. Pääarkkitehtina toimi arkkitehti Tanja Rytönen. Rakennuksessa hyödynnettiin nykyään oululaisen Mammuttihirsi-yrityksen innovaatioita. Puun lisäksi käytettiin paljon lasipintaa, kuparia ja terästä. Rakentaminen alkoi vuonna 2000 ja talo vihittiin käyttöön elokuussa 2001 ja ristittiin Polariaksi. Rakennus oli valmistuessaan Suomen suurin julkinen W.

Jonkun verran haasteita aiheutti hirsirakenne kaksikerroksiseen, kerrosalaltaan 1300 neliömetrin taloon. Kun entiset hirsitalot tiivistyivät luontevasti painovoimaisesti kattorakenteiden massan painosta, ei tätä voitu näin suuressa rakennuksessa hyödyntää, vaan katto lepäsi erillisen pylväsrakenteen kannattelemana. Siitä syystä kylmää päästävät raot, jotka väistämättä syntyivät hirsielementtien eläessä, jouduttiin sananmukaisesti moukaroimaan umpeen. Tehtävän aiheuttama ryske kuului kiusallisenä taustahälynä Polariassa työskentelevien elämään ensimmäisinä kesinä ennen kuin rakennus asettui kunnolla. Kaiken kaikkiaan kuitenkin rakennuksesta tuli erittäin onnistunut ja vierailijoissakin ihastusta herättänyt kokonaisuus. Hirsiseinäiset työskentelytilat ja täyskorkea, sekä etu- ja takapihan puolelta lasiseinäinen sisääntuloaula, luovat rakennuksen sisätiloihin erityisen kodikkaan ja samalla valoisan tunnelman. Ulkoapäin rakennus sulautuu harvinaisen onnistuneesti ympäröivään mäntymetsään.



Johtuiko sitten yhteisestä päärakennuksesta vai muusta niin 2000-luvulla yhteistyökuviot observatorioiden välillä vahvistuivat. FUVIRC-projektin (Finland UV International Research Centre) puitteissa harrastettiin tiivistäkin yhteistyötä varsinkin keskuksen rakennusvaiheessa. Projektissa tarjottiin monipuolinen tutkimusalusta kansallisille ja kansainvälisille biologian tutkimusryhmille lisätyn UV-säteilyn vaikutuksien arvioimiseksi erilaisissa Lapille tyypillisissä ekosysteemeissä. Osoittautui, että Lapin kasvit ovat varsin hyvin varustautuneita ja pystyvät puolustautumaan UV-lisäystä vastaan (Turunen and Latola, 2005). Toisaalta UV-trenditkään eivät olleet yhtä selviä kuin otsonikerroksen oheneminen olisi antanut aiheen olettaa –vaikuttivathan siihen otsonin lisäksi esimerkiksi myös pitkän ajan muutokset pilvisyydessä (Lakkala et al., 2003).

Edellä mainittujen lisäksi on 2000-luvun alusta nostettava esille eräs varsin laaja yhteistyöprojekti EU:n tutkimuksen puiteohjelman sisällä, nimittäin LAPBIAT (Lapland Biosphere Atmosphere Facility) ja sen jatkohanke LAPBIAT2. Tämä projekti kuului puiteohjelman osaan, jossa merkittäviä eurooppalaisia tutkimusaloja haluttiin saada Euroopan laajuiseen käyttöön ja sillä tavalla nostaa niiden käyttöastetta. Vierailuja tuettiin Transnational Access -apurahojen avulla. Huomattakoon, että rahoitusta eivät saaneet vain vierailevat ryhmät vaan myös isäntä-organisaatioita kompensoitiin lisääntyvistä työtunneista ja kulutusmenoista. Niinpä sekä Sodankylän geofysiikan observatoriossa että Lapin ilmatieteellisessä tutkimuskeskuksessa (LIT), joksi Sodankylän ilmatieteellinen observatorio vuonna 2001 uudelleen nimettiin, vierailutoiminta huomattavasti vilkastui. Projektin kättilönä voidaan pitää Jorma Kangasta, joka toimi Geofysiikan observatorion väliaikaisena johtajana sillä aikaa kun Tauno Turunen toimi EISCAT:in johtajana (1998–2002). Kangas oli ollut pitkään mukana Oulun yliopiston Thule-instituutin toiminnassa ja sai siellä tutustua monipuolisesti pohjoisuuden tutkimukseen, joka nimettiin 1990-luvulla yhdeksi Oulun yliopiston paino-aloista. Hän johti yliopiston ensimmäisen pohjoisuusstrategian kirjoittamista ja myöhemmin oli sitä päivittämässäkin pariin otteeseen. Lapissa oli tuohon aikaan monia yliopistojen ja virastojen – usein pieniä tutkimusyksiköitä – joiden toimintoja uudessa EU-Suomessa alettiin arvioida välillä kriittisessäkin sävyssä. Asia oli myös esillä kansallisen arktisen tutkimuksen kehittämissä ohjelmissa (Saarnisto, 1998). Erityisen tärkeäksi nähtiin kehittää yhteistyötä tutkimusasemien kesken synergiaetujen saamiseksi. Asiasta keskusteltiin Pallastunturin luontokeskukseen kutsutussa Lapin tutkimusasemien kokouksessa vuonna 1999, missä Jorma Kangas oli yksi keskeinen vaikuttaja (Norokorpi ja Tapaninen, 2000). Kokous samalla toimi LAPBIAT-projektin valmistelun lähtölaukauksena. Kovasta kilpailusta huolimatta projektiesitys hyväksyttiin EU:n viidennen puiteohjelman IHP-ohjelmaan (Improving Human Potential) (1998–2002). Valmisteluvaihe mukaan lukien LAPBIAT kokosi yhteen seitsemän ilmakehän ja biosfäärin alalla toimivaa Lapin tutkimusasemaa ja niiden taustaorganisaatioita vuosikymmenen ajaksi. Sodankylän geofysiikan observatoriolla oli koordinaattorin tehtävä, ja erityisesti on mainittava Jyrki Mannisen panos varsin mutkikkaan projektihallinnon kiitettävän tehokkaassa ohjauksessa.

## 5.2

# METEOROLOGINEN OBSERVATORIO – ILMA-TÄHTELÄ – LAPIN ILMATIETEELLINEN TUTKIMUSKESKUS

Eero Kataja

Jo 1930-luvulla oli Sodankylään suunniteltu oikeaa päätoimista sääasemaa, sillä Pohjois-Suomeen tarvittiin tehokkaampaa asemaa. Pitkän aikaa oli mitattu tuulia pilotpallojen avulla, mutta radiosondin kehitys toi esille uusia mahdollisuuksia. Tietysti asema olisi voinut sijaita muuallakin, olihan Rovaniemelläkin lentokenttä ja sillä säätietojen tarve, mutta Sodankylän asema oli jo vakiintunut. Sodankylään siis suunniteltiin vakinaista asemaa ja sille toimittajia. Tähtelän tilat, 1930-luvun alun laajennusten jälkeenkään, eivät olleet riittävät. Sodankylässäkin oli jo lentokenttä – aikanaan Petsamon lentoja varten raivattu – ja se olisi ollut sopiva luotausasemankin ympäristö. Mutta maa joutui sotaan, ja luotausasemakin joutui odottamaan rauhan aikaan. Uusi ilmatieteellinen observatorio perustettiin Tähtelän alueelle vanhan observatorion läheisyyteen. Sodankylän observatorion ensimmäiselle johtajalle (1913–1917) professori Keräselle päätös oli selvästi mieleen: hänelle oli tärkeää, että molemmat hänelle henkilökohtaisesti läheiset laitokset tulivat puhe-etäisyydelle toisistaan. Olihan Keränen Ilmatieteellisen keskuslaitoksen johtajana myös uuden ilmatieteellisen observatorion esimies. Läheiset yhteydet Ilmatieteen laitoksen ja Tiedeakatemian välillä tekivät mahdolliseksi molempien observatorioiden yhtäaikaisen rakentamisen. Tähtelän jälleerakentaminen oli pysähtynyt, kun kaikkein tärkeimmät rakennukset oli syksyllä 1945 saatu auttavasti pystyyn, ja rahalähteet olivat ehtyneet. Sodan yli Tähtelää hoitanut Eyvind Sucksdorff (1899–1955), Ilmatieteellisen keskuslaitoksen magneetikoksi siirtynyt, oli kyllä jo hankkinut sukulaiseltaan, arkkitehti Wivi Lönniltä (1872–1966) lahjoituksena uuden

päärakennuksen piirustukset, mutta ne joutuivat vuosiksi odottamaan toteutustaan. Sodankyläläinen rakennusyritys Veljekset Liikala sai kaksi yhtäaikaista urakkaa naapuritonteille. Olosuhteet olivat hankalat, mutta Ilma-Tähtelä – kuten asemaa alettiin nimittää – valmistui syyskesällä 1949 ja Tähtelä seuraavana keväänä.

Nimikysymys pysyi sitten elossa niin sitkeästi kuin pienet asiat pyrkivät pysymään. Ilma-Tähtelä oli tietenkin aivan sopiva, se erotti laitokset toisistaan – ne olivat hallinnollisesti itsenäiset ja tarvitsivat siis omat nimensä, ja viittaus Tähtelään ilmaisi sopivasti topografisen sijainnin – mutta sitten jostakin ilmestyi nimitys – ”Maa-Tähtelä” alkuperäiselle Tähtelälle. Tähtelä miellettiin kuitenkin koko observatorioalueen nimeksi. Myöhemmin pyrittiin selkeyttämään nimiongelmia nimittämällä Ilma-Tähtelä lyhyemmin Ilmalaksi, pelkäämättä enää sekaannusta Helsingin alkuperäisen Ilmalan kanssa. Ilma-Tähtelän isännäksi tuli armeijan luutnantti ja maisteri Pentti Rapeli (1923–2006). Hän sitten pysyi paikallaan uskollisesti ja menestyksellisesti aina 1980-luvulle saakka. Eikä hän eristäytynyt tieteen norsunluutorniin, vaan toi merkittävän panoksen myös paikkakunnan elämään tunnettuna ja arvostettuna persoonallisuutena.

Ilmatieteellinen keskuslaitos oli siis asettunut Tiedeakatemiaan aikanaan valtiolta saadulle avaralle tontille. Kun rakennukset oli saatu aikaan, piti niiden ympärille rajata myös tontti. Muistelen, että erottamiseen ei tarvittu virallista maanmittaria eikä toimitusta viety maarekisteriin. Maahan oli valtion kummallekin laitokselle käyttöön luovuttamaa. Rajat vedettiin suuren yhteisymmärryksen vallitessa, ja Ilma-Tähtelän käyttöön osoitettiin 30 hehtaarin tontti Tähtelän alueen keskeltä. Nurkkakivet sijoitettiin maastoon, aitoja ei tehty eikä tarvittu.

Ilma-Tähtelän paikkaa suunniteltaessa pyrittiin ottamaan huomioon Tähtelän mahdolliset laajentamisyrittäykset. Sähkömagneettinen geofysiikka on aina laajentanut reviiriään uusiin kohteisiin, milloin maan sisään, milloin ylöspäin kohti revontulia. Ilma-Tähtelä sijoitettiin niin kauas, että Tähtelälle jäisi tarpeeksi laajenemistilaa lähiympäristössään. Tilaa riitti seitsemän vuotta, sitten tuli ajankohtaiseksi ionosfääriluotauksen vaatimien tilojen löytäminen. Ne olikin jo vietävä sääobservatorion eteläpuolelle, että isot vaaka-antennit mahtuisivat. Valtio oli arvaamattaankin kaukonäköinen luovuttaessaan neljäsataa hehtaariaan yli sata vuotta sitten. Paljolti sen ansiosta alueelle on voitu sijoittaa kaikki se, mikä siellä nykyisin on.

Vielä kymmeniä vuosia sota-ajan jälkeen pidettiin luonnollisena, että koko henkilökunta, tai ainakin pääosa, asuu observatorioalueella. Tämä merkitsi sitä, että alueella asuvat perheet olivat hyviä tuttuja keskenään. Alue oli parhaimmillaan usean kymmenen asukkaan yhdyskunta. Vuosikymmenten mittaan, erityisesti 1980-luvulta alkaen, henkilökunnat ovat siirtyneet pois työsuhteiden ja asumisen pääasiassa Sodankylän kirkonkylään. Suurena syynä tähän on ollut työsuhteiden lakimääräisten vuokrien nousu ja verotuskäytännön kiristyminen. Tämän kehityksen myötä myös alue on siten muuttunut vilkkaasta asuinyhteisöstä persoonattomammaksi työpaikka-alueeksi.

Vuosikymmenten kuluessa on tullut esiin myös kysymys, onko mahdollisesti geofysiikan



Geofysiikan observatorion henkilökunta 19.9.1966. Alhaalta vasemmalta: Kerttu Ruumensaari (tutkimusapulainen), prof. Vilho Väisälä (observatoriotoimikunnan puheenjohtaja), Liisa Mustonen (siivoja, vierashuonehoitaja), prof. Jaakko Keränen, Terttu Jääskeläinen (tutkimusapulainen), prof. Pentti Laasonen (Suomalaisen Tiedeakatemiaan hallituksen edustaja), FK Seppo Koivumaa

(ionosfääriaseman hoitaja), Kullervo Ruumensaari (radiomekaanikko), FK Airi Kataja (seismologi), Enna Leino (vahtimestarin apulainen), merkonomi Mirja Hämäläinen (tutkimusapulainen), Raimo Mannermaa (mekaanikko), Anna-Liisa Vilppola (assistentti), Mauno Leino (vahtimestari), FM Eero Kataja (johtaja, magneetikko) ja Tarmo Mustonen (teknikko). (KUVA: SGO)



observatorio tieteen organisaatiossa väärässä paikassa. Suomalainen Tiedeakatemia on ylläpitänyt observatoriota kokonaan valtion myöntämällä varoilla, ja siirto suoraan valtiolle on tullut esille sekä Tiedeakatemia että valtion viranomaisten puolelta. Esimerkiksi 1970-luvulla asiaa harkittiin vakavasti, ja silloin nimenomaan Ilmatieteen laitos tuli esille mahdollisena uutena isäntänä. Siirto olisi ollut luonnollinenkin, koska laitoksella on vastuullaan kaikki muu maamagnetismin ja siihen liittyvän geofysiikan tutkimus maassamme. Asia ehti jo niin pitkälle, että Tähtelän henkilökunnan suhtautumista liittämiseen tiedusteltiin virallisesti. Vastaus oli myönteinen, valtion laitoksen ja valtion viranhaltijan asema on turvallinen. Asia raukesi valtion rahapulaan; Tähtelä on elänyt veikkausvoittovaroilla, nyt olisi jouduttu uhraamaan suoranaisia budjettivaroja. Vasta 1990-luvulla tehtiin lopulliset ratkaisut. Pitkän harkinnan jälkeen päädyttiin Tähtelän liittämiseen Oulun yliopistoon, johon oli kehittynyt voimakas alan tutkimusyksikkö. Tähtelän ja Ilmatieteen laitoksen yhteistyölle uudesta järjestelystä ei ole ollut haittaa. Työnjako on alusta alkaen ollut selvä: Ilmatieteen laitos on mennyt maan alle niin syväälle kuin on pystynyt kaivautumaan, muutaman metrin verran maan lämpötilaa mittaamaan, ja luotauspalojen nousun verran ylöspäin, kolmisen peninkulmaa. Tähtelälle sitten kuuluu kaikki muu: maapallo magnetismeineen ja järjestyksineen vaippaan ja ytimeen asti, ja ilmakehän reunakerrokset, iono- ja magnetosfääri, aurinkotuuli ja itse Aurinko. Ilmalan yläraja ja Tähtelän alaraja ovat hiljalleen lähentyneet, mutta tilaa on riittänyt.



Vasemmalla Ilmatieteen laitoksen pääjohtaja Erkki Jatila, keskellä Sodankylän Ilmatieteellisen observatorion johtaja Esko Kyrö. Hänestä seuraava siviiliasuinen mies on Ilmatieteen laitoksen nykyinen pääjohtaja Petteri Taalas ja tämän vieressä on Anna-Liisa Savolainen Ilmanlaatuosastolta. Taustalla Sodankylän varuskunnan henkilökuntaa. Kuva on vuodelta 1989. (KUVA: Ilmatieteen laitos)

## 5.5

# SODANKYLÄN GEOFYSIIKAN OBSERVATORIO MUKANA VIEMÄSSÄ SUOMEA AVARUUTEEN

Risto Pellinen

### Johdanto

Sodankylän geofysiikan observatorio (SGO) perustettiin alunperin tekemään säännöllisiä, jatkuvia maan magneettikentän mittauksia. Vuosien saatossa SGO:n tehtäväkenttä laajeni eri kansainvälisten kampanjoiden ansiosta. Osallistuttiin toiseen polaarivuoteen 1932–1933 ja kansainväliseen geofysiikan vuoteen (IGY) 1957–1958, jolloin observatorioon tuotiin ja hankittiin uudenlaisia mittalaitteita mm. revontuli- ja ionosfäärihavaintoja varten. Sodankylän geofysiikan observatorion pohjoinen sijainti ja hyvin järjestetyt kulkuyhteydet sekä kehittyneet tietoliikenneyhteydet tekivät observatoriosta suositun sijoituspaikan geofysikaalisille mittalaitteille.

Avaruushistorian suurin tutkimushanke IMS (International Magnetospheric Study 1976–1979) käynnistyi 1970-luvulla (Roederer, 1976). Globaali maanpintahavaintojen verkko viritettiin huippuunsa ja havaintoja tuki noin 50 satelliittia, joista osa nimenomaan suunniteltiin toimimaan IMS:n aikana. Euroopan sektorilla Suomi nousi avainasemaan. Suomen alueelle asennettiin useita mittalaitteverkkoja, joista magnetometri- ja tutkaverkot (STARE, Scandinavian Twin Auroral Radar Experiment) (Nielsen and Schmidt, 2014) olivat tärkeimpiä. Toiminnasta raportoitiin USA:n Boulderissa sijaitsevaan WDC-datakeskukseen (World Data Center), joka johti yhteistyön koordinaatiota. Sodankylän geofysiikan observatorio lähti monipuolisesti mukaan tähän toimintaan sekä osallistuvana että avustavana osapuolena. IMS:n aikana tutkijavierailut SGO:ssa lisääntyivät ja kansainväliset yhteydet vahvistuivat.

EISCAT-sirontatutkahanketta (European Incoherent Scatter Facility) (Oksman, 2011)



alettiin käynnistää jo vuonna 1969, ja heti alusta SGO:lla oli keskeinen rooli näissä suunnitelmissa yhtenä mahdollisena vastaanottoasemien sijoituspaikoista. Suomi liittyi EISCAT-järjestöön vuonna 1975, tutka käynnistyi 1981 ja vakituinen luotettava mittaustoiminta pari vuotta tämän jälkeen (ks. Juhani Oksmanin kirjoitus). EISCAT on omalta osaltaan kehittänyt SGO:n kansainvälisyyttä ja tarjonnut laajoja mahdollisuuksia eturivin tutkimustoiminnalle.

Vuonna 1976 solmittiin geofysiikan alan tutkimusyhteistyösopimus Neuvostoliiton tiedeakatemian kanssa. Tämä lisäsi tieteellistä yhteistoimintaa molempien maiden pohjoisten observatorioiden ja tutkimuslaitosten välillä. Vuonna 1981 solmittiin vastaavanlainen yhteistyösopimus USA:n kanssa, mikä lisäsi tieteellistä toimeliaisuutta kalottialueen tutkimusyksiköiden välillä. Sodankylän geofysiikan observatorio isännöi vuonna 1985 kolmannen suomalais-amerikkalaisen työkokouksen, johon osallistui tutkijoita myös kolmansista maista, muiden muassa Neuvostoliitosta.

Suomi alkoi hakea aktiivista roolia kansainvälisessä avaruusyhteistyössä 1970-luvun lopulla. SGO omalta osaltaan vauhditti kehitystä aloittamalla vuonna 1977 kanadalaisten ISIS-1 ja ISIS-2 satelliittien (International Satellites for Ionospheric Studies) (Jelly, 1993) vastaanottotoiminnan saksalaisilta lahjana saadulla antennilla. Myöhemmin toimintaa yritettiin laajentaa Teknillisen korkeakoulun Metsähovin observatoriosta vapautuneella 13 metrin radioteleskoopilla, mutta hankkeesta jouduttiin luopumaan teknis-taloudellisista syistä johtuen.

Kansainvälinen satelliittiyhteistyö vauhditti tutkimustyön kehittymistä. Euroopan avaruusjärjestön (ESA) GEOS-2 satelliitin (laukaisu 1978) (ESA, 1978) tekemien havaintojen magneetikentän kantapiste sijaitsi SGO:n ympäristössä. Yhteistyötä maanpintahavaintojen koordinoimisessa tehtiin CCOG-työryhmän (Coordination Committee for Observations Associated with GEOS) (Stoffregen, 1976) kautta, missä SGO:n tutkijat olivat aktiivisesti mukana. Tämä toiminta erikoisesti avasi kanavat ESA:n suuntaan jo ennen Suomen jäsenyysneuvottelujen käynnistymistä. CCOG-työryhmä tuki myöhemmin yhteistyötä ruotsalaisen Viking-satelliitin (laukaisu 1986) (Fredga, 1983) ja EISCAT-havaintojen kanssa. Sama periaate toistui Neuvostoliiton Interball-yhteistyössä (Zelenyi and Sauvaud 2002) (laukaisut 1995 ja 1996) ja ESA:n Cluster-hankkeessa (ESA, 2000). Kummatkin monisatelliittihankkeet liittyivät magnetosfäärin ja revontulien tutkimukseen.

Seuraavissa kappaleissa käsitellään yksityiskohtaisemmin näitä eri kehitysvaiheita painottaen erikoisesti SGO:n usein tärkeää ja keskeistä roolia.

## Observatoriopäivät tutkimustoiminnan katalysaattorina 1970- ja 1980-luvuilla

Ilmatieteellisen keskuslaitos käynnisti geofysiikan observatoriopäivät vuonna 1961. Laitoksen vuosikertomuksessa on asiasta seuraava maininta, mikä hyvin kuvaa observatoriopäivien luonnetta:

”22.–23.2.1961 pidettiin Nurmijärven observatoriossa ja keskuslaitoksella ensimmäiset geofysikaaliset observatoriopäivät, joihin osallistuivat maamme magneetikot, ionosfääritutkijat ja seismologit. Observatoriopäivien tarkoituksena oli kiinteämmän yhteistoiminnan luominen alan eri tutkijoiden kesken ja keskeisen toimintasuunnitelman laatiminen lähivuosisiksi. Observatoriopäivät todettiin hyödyllisiksi ja niitä päätettiin pitää toistaiseksi, mahdollisuuksien mukaan noin kerran vuodessa.”

Tämän jälkeen vastaavia tapaamisia järjestettiin vuosina 1963 Helsingissä, 1969 Sodankylässä, 1970 Oulussa, 1971 Helsingissä, 1972 Sodankylässä ja 1973 Helsingissä. Olin syyskuussa 1972 aloittanut työni Ilmatieteen laitoksella ja tämä oli ensimmäinen tutustumiseni Sodankylän geofysiikan observatorioon ja suomalaisen geofysikkokuntaan. Ajankohta oli sinänsä erityisen sopiva, sillä suomalaiset olivat varsin aktiivisesti valmistautumassa kansainväliseen IMS-tutkimusjaksoon, jonka oli määrä alkaa vuoden 1975 alusta, mutta jonka alkua sittemmin lykättiin vuodelle. Olin onnistunut hyppäämään ”liikkuvaan junaan” ja IMS:n kansainvälisyys oli varsin kiehtova haaste jo suunnitteluvaiheesta lähtien.

Observatoriopäivillä ja muissa vastaavissa kokouksissa Sodankylässä ja Oulussa ja Helsingissä 1970-luvulla luotiin Suomeen ainutlaatuiset mittalaitteverkostot, jotka saumattomasti nivoutuivat muiden Suomeen asennettujen tieteellisten mittalaitteiden yhteyteen. Kun IMS käynnistyi 1.1.1976, Suomeen oli perustettu täysin uusi revontulikameroiden verkko, jota vielä täydennettiin parin seuraavan vuoden aikana, riometrien sijoittelu oli optimoitu (Pellinen, 1982) ja magneettisissa mittauksissa tuettiin kahden saksalaisen yliopiston rakentamia verkkoja. Observatoriopäivillä sovittiin osallistumisesta useisiin kansainvälisiin mittauskampanjoihin ja esiteltiin ensimmäisiä tuloksia.

Yhtenä lisäkatalysaattorina voidaan pitää UTD:n (University of Texas at Dallas) professori Walter Heikkilan (1928–) panosta kansainvälisen avaruusyhteistyön kehittämisessä Suomessa. Hän osallistui syksyllä 1975 Sodankylän observatoriopäiville ja ehdotti useita uusia yhteistyökohteita. Hän toi mukanaan Periquito-rakettihankkeen, joka toteutettiin marras–joulukuussa 1985 (Daly and Whalen, 1978). Heikkila ehdotti myös kanadalaisten ISIS-satelliittien vastaanottoa, jota hän oli valmistellut Kanadassa. Hänellä oli myös oma instrumenttinsa näissä satelliiteissa. Heikkila ehdotti N-MAC -havaintokampanjoita (Noon-Midnight Auroral Correlations) (International Geophysical Calendar for 1976, WDC-A), jotka toteutettiin kansainvälisessä yhteistyössä suomalaisten koordinoimana. Heikkila ehdotti myös STARE-revontulitutkan rakentamista ja järjesti asiaan liittyvät neuvottelut. Suomea puhuvana hänen oli helppo osallistua yhteistyöhön, joka on jatkunut näihin päiviin asti. Walter Heikkilaa voidaan hyvällä syyllä sanoa suomalaisen avaruustutkimuksen ”kummisedäksi.”

Suomessa Hankasalmella järjestettiin maailman ensimmäinen IMS:n tuloksia käsittelevä kansainvälinen kokous toukokuussa 1977, tämäkin Walter Heikkilan aloitteesta. Tämä oli alkuna kuuden eri Euroopan maassa pidetyn kokouksen sarjalle, joiden järjestämisessä suomalaisilla oli avainasema.

IMS:n jälkeen EISCAT-asiat olivat keskeisessä asemassa observatoriopäivien ohjelmassa. Tämä oli niin konkreettista, että päivät vuosina 1979 ja 1980 jouduttiin järjestämään Utsjoen Kevolla, koska EISCAT:in loppusuoralla olevat rakennustyöt eivät mahdollistaneet kokouksia SGO:ssa. Vaikka Ruotsin kuningas elokuussa 1981 virallisesti käynnisti EISCAT:in mittaukset, jouduttiin vielä vuoden 1983 observatoriopäivien raportissa toteamaan: ”Laitteistoissa ilmenneiden teknillisten virheiden takia ennen huhtikuun puoltaväliä 1982 saatuja mittaustuloksia ei tulisi kritiikittä käyttää tieteelliseen tutkimukseen.” Vuoden 1983 kokousraportissa oli runsaasti positiivisia näkemyksiä tutkan tilasta ja ensimmäisistä tuloksista. Vuonna 1984 saatettiin todeta, että EISCAT:in UHF-järjestelmä oli jo loppuvuodesta 1983 toiminut loistavasti ja ensimmäinen virallinen kansallinen mittaus oli tehty 23.–25.9.1983. EISCAT oli saatu valmiiksi ja tieteen tekeminen saattoi alkaa täydellä teholla.

Geofysiikan observatoriopäivillä 1989 Sodankylässä osanottajat totesivat, että geofysikaaliset mittaukset myös Suomessa olivat laajennet avaruuteen. Pöytäkirja sisälsi raportit kahdesta Suomen ensimmäisestä avaruuteen lähetetyn instrumentin toiminnasta, Ilmatieteen laitoksen Phobos Mars -ohjelmasta (Lundin et al., 1989) sekä Dayside Cusp -rakettkampanjasta (Ranta, 1989), joka oli ollut Sodankylän geofysiikan observatorion vastuulla. Uusia jo käynnissä olevia satelliittihankkeita kuvattiin runsaasti: Aktivnyij (SGO), joka ei koskaan toteutunut toivotussa muodossa, Cluster, Freja, Interball, SWAN (Bertaux et al., 1989) ja Mars 94 (Zakharov and Fechtig, 1994). 1980-luku oli päättymässä ja Suomi, sekä Sodankylän geofysiikan observatorio sen myötä, olivat siirtyneet avaruuteen.

## Kansainvälisten yhteistyöhankkeiden käynnistyminen 1970- ja 1980-luvuilla

### YHTEISTYÖ NEUVOSTOLIITON TUTKIMUSLAITOSTEN KANSSA

Tulevan avaruustutkimuksen kannalta käänteentekevää oli geofysiikan alan yhteistyön kehittyminen Neuvostoliiton kanssa. Pieni neuvotteluvaltuuskunta (Lauri Vuorela, Christian Sucksdorff, Juhani Oksman, Eero Kataja ja Risto Pellinen) matkusti Murmanskin Polar Geophysical Instituteen lokakuussa 1976 neuvottelemaan yhteistyöstä revontuli- ja ionosfääritutkimuksen aloilla. Yhteistyösopimus allekirjoitettiin, mutta tutkimusyhteistyö käynnistyi melko verkkaisesti ja neuvostoliittolaiset vierailivat Suomessa ensimmäisen kerran vasta Hankasalmen IMS-kokouksessa.

IMS ja EISCAT sekä Suomessa käynnistynyt STARE-revontulitutka vauhdittivat yhteistyön toteutumista käytännön tasolla. Toiminta laajeni nopeasti käsittämään myös Moskovassa ja sen lähialueella (Troitsk) sijaitsevat alan tutkimuslaitokset. Ulkoministeriö auttoi tehokkaasti tutkijavaihtobyrokratian hoidossa. Yhteistyö kehittyi sujuvasti 1980-luvun alkupuolella ja käytännössä se laajeni avaruustutkimuksen alueelle 1985 alkaen. 1980-luvulla järjestettiin kaksi



Yhteistyösopimuksen allekirjoitustilaisuus lokakuussa 1976 Murmanskissa. Takana Eero Kataja, oikealla Juhani Oksman ja pöydän ääressä Risto Pellinen. (Kuva: Risto Pellinen)

tieteellistä työkokousta (workshop), toinen Leningradissa 1984 ja toinen Murmanskissa 1986. Kummankin kokouksen esitelmät julkaistiin Proceedings-kirjoina. Lopputuloksena voidaan todeta, että Sodankylän geofysiikan observatorio hyötyi erittäin paljon tämän yhteistyön käynnistämistä.

### YHTEISTYÖ USA:N TUTKIMUSLAITOSTEN KANSSA

Elokuussa 1980 Yhdysvaltain kansallinen tiedesäätiö (National Science Foundation, NSF) ja Suomen Akatemia solmivat yhteistyösopimuksen, jonka yhtenä painoalana oli revontuli- ja magnetosfäärfysiikka. Kerroin asiasta Walter Heikkilälle ja päätimme ryhtyä toimenpiteisiin yhteistyön käynnistämiseksi. Ensimmäinen Suomi-USA Workshop ”Study of ionospheric and magnetospheric phenomena in the auroral zone” järjestettiin Oulun yliopistossa 17–20.8.1981. Kokouksen esitelmät julkaistiin Sodankylä Geophysical Observatory Report -sarjassa numerolla 37.





Kokousosanottajia ensimmäisessä Suomen ja USA:n välisessä tieteellisessä avaruuskokouksessa Oulussa 1981. Äärimmäisenä oikealla Walter Heikkilä. Eturivissä keskellä on Risto Pellinen. (Kuva: Risto Pellinen)

Kolmas kokous järjestettiin SGO:ssa 14.–18.10.1985. Tässä kokouksessa olivat vahvasti esillä sirontatutkayhteistyön mahdollisuudet maiden välillä, kun EISCAT-mittaustoiminta oli päässyt hyvään vauhtiin. Toinen erikoisuus oli vierailu Kiurunan ESRANGE-tukikohdassa, jossa sijaitsi seuraavana vuonna 1986 laukaistavan Viking-satelliitin tieteellinen ohjauskeskus. Tämänkin kokouksen tulokset julkaistiin Sodankylä Geophysical Observatory Report -sarjassa numerolla 45.

Kokouksia oli kaikkiaan kuusi ja ne järjestettiin Suomessa ja USA:ssa vuorotellen vuosina 1981–1997. Kokouksiin osallistui keskimäärin 50 tutkijaa mukaan lukien tutkijat kolmansien maiden yhteistyölaitoksista. Vuoden 1989 kokous Yosemitein kansallispuistossa oli todellinen läpimurto, minkä jälkeen yhteisjulkaisujen määrä lähti voimakkaaseen kasvuun ja useat suomalaiset tutkijat saivat kutsun vierailuun tai työskennellä pitempiä aikoja USA:n tärkeimmässä avaruustutkimuslaitoksissa. Tämä toiminta on luonut Suomen ja USA:n tutkijoiden välille verkoston, joka on voimistanut maiden välisiä suhteita avaruusalalla ja omalta osaltaan auttanut kansallisen avaruusohjelman käynnistämisessä.

### Satelliittivastaanotinhankkeet

Sodankylän geofysiikan observatorion tekninen henkilökunta oli tukenut Turun yliopiston biologiselle asemalle Kevolle 1968 rakennetun saksalaisen satelliittivastaanottimen rakentamista ja ylläpitoa vuosina 1968–1975. Asemalla vastaanotettiin ensimmäisten saksalaisten tieteellisten satelliittien Azur, Aeros-A ja Aeros-B mittaustuloksia (ks. Juhani Oksmanin kirjoitus). Kun Kevon aseman laitteet olivat tehneet Saksan kannalta tehtävänsä, ne lahjoitettiin Suomalaiselle Tiedeakatemialle, käytännössä SGO:lle. Kesällä 1975 vastaanottoantenni siirrettiin armeijan isolla kuljetushelikopterilla Sodankylään. Antennin jalusta ja satelliittiaseman vastaanotin- ja ohjauslaitteet siirrettiin Sodankylään maanteitse.

Kanadalaisten kanssa neuvoteltiin sopimus ISIS-1 ja ISIS-2 satelliittien vastaanottotoiminnasta, rakennettiin ja osittain lainattiin tarpeelliset laitteet ja käynnistettiin vastaanottotoiminta joulukuussa 1977. Tämän jälkeen vastaanotettiin valittuja ylilentoja koordinoitusti maanpintahavaintojen kanssa vuoden 1978 aikana. IMS ja tuleva EISCAT-yhteistyön mahdollisuus venyttivät omalta osaltaan ISIS-satelliittien elinikää usealla vuodella aina kevääseen 1981 asti. Tuloksena SGO:ssa saatiin runsaasti kokemuksia satelliittivastaanoton käytännön järjestelyistä ja vaikeuksista, joista muun muassa ratalaskujen tekeminen osoittautui huomattavan hankalaksi.

Ajatus Sodankylään perustettavasta pysyvistä satelliittiasemasta jäi eloon ISIS-kokeilun jälkeen ja tuotiin esiin eri yhteyksissä jo 1980-luvun lopulla. Taustalla oli Suomen liittyminen ESA:n jäseneksi, jolloin satelliittiaseman avulla uskottiin saatavan toivottuja aktiviteetteja Suomeen. Ajateltiin myös, että täysjäsenyysneuvotteluissa 1990-luvun alkupuolella voitaisiin satel-



liittiasemaa tarjota osana liittymismaksua. Sodankylä oli maantieteellisesti ja infrastruktuuriominaisuuksiltaan tarkoitukseen hyvin sopiva paikka.

Hanke vauhdittui, kun Helsingin teknillisen korkeakoulun (TKK) Metsähovin observatorion 13 metrin läpimittaista radio-teleskooppiantennia alettiin uusia tulevia, suurempaa tarkkuutta vaativia VLBI-mittauksia (Very Long Baseline Interferometry) varten. Antennia tarjottiin Ilmatieteen laitokselle siirrettäväksi Sodankylään satelliittivastaanottoa ja radioastronomisia VLBI mittauksia varten. Ilmatieteen laitos ja TKK solmivat vuonna 1992 yhteistyösopimuksen asian toteuttamisesta. Sopimukseen liittyen liikenneministeriö asetti työryhmän selvittämään satelliittimaa-aseman eri perustamisvaihtoehtoja sekä observatorio toimintojen organisointia. Työryhmän raportti *Ehdotus Sodankylän geofysiikan observatorioiden kehittämiseksi* (Haapasalo, pj., 1992) luovutettiin liikenneministeriölle alkuvuodesta 1992. Sodankylässä tehtiin oma selvitys *Satelliittimaa-aseman perustaminen Sodankylään*, joka julkaistiin huhtikuussa 1992 (Turunen, pj., 1992). Periaatteessa kaikki tahot olivat positiivisia hankkeille. Rahoitusneuvottelut käynnistyivät liikenne- ja opetusministeriöiden välillä. Kesällä 1992 hankkeen vetovastuu siirrettiin Ilmatieteen laitokselle.

Ilmatieteen laitoksen ja TKK:n välinen yhteistyösopimus johti siihen, että vanha teleskooppi kupuineen purettiin ja kuljettiin Sodankylään kunnan järjestämiin varastotiloihin SGO:n vastuulle. Jatkotoimet Sodankylässä eivät edenneet suunnitellulla tavalla,



STARE-revontulitutkan vastaanotinantenni Hankasalmella 1977. (Kuva: Risto Pellinen)

ja kun kunta tarvitsi varastotiloja muuhun käyttöön, antennin osat myytiin Artjärven kunnalle käytettäväksi kunnan ja Ursan yhteisessä Tähtikallio-hankkeessa.

SGO lähti vielä kerran liikkeelle vuoden 2000 lopulla ehdottamalla, että niin sanotut velkakonversiorahoja (joilla Neuvostoliitto maksoi osan valtiovelastaan Suomelle tieteellisillä laitetoimituksilla) käytettäisiin satelliittiaseman hankkimiseksi Sodankylään. Hanke todettiin kuitenkin käytännössä niin hankalaksi, että siitä päätettiin luopua.

Tämä SGO:n käynnistämä pioneeritoiminta tuotti kuitenkin positiivisen lopputuloksen, kun Ilmatieteen laitos hankki Sodankylään 2,4 metrin antennilla varustetun aseman, jolla vastaanotettiin NASA:n Aura-satelliitin OMI-instrumentin (Ozone Monitoring Instrument) tuottamaa dataa (NASA, 2004). OMI oli rakennettu suomalais-hollantilaisena yhteistyönä. Vuonna 2011 aseman viereen pystytettiin toinen 7,3 metrin antenni ja voitiin todeta että jatkuva vastaanotto toiminta Sodankylässä kahdella antennilla oli käynnistynyt.

### Revontulikamera- ja magnetometriverkko MIRACLE

Suomi lähti mukaan IGY:n aikana perustettuun maailmanlaajuiseen noin 150 revontulikameran verkon toteuttamiseen. Syksyllä 1957 aloitettiin Ilmatieteellisen keskuslaitoksen kameroilla kuvaukset Sodankylässä ja Ivalossa. Vuotta myöhemmin lisättiin kameraverkkoon Utsjoki ja Kiihiminki. Kansainvälisen geofysiikan vuoden maailmanlaajuisista tuloksista luotiin yhtenäinen kuva revontulien käyttäytymisestä ja tämä kuva sai vahvistuksensa ensimmäisen NASA:n Dynamics Explorer1 -satelliittikameran kuvauksista 1980-luvun alussa.

IGY:n jälkeen moni maa lopetti kuvaustoiminnan, mutta Suomessa jatkettiin vanhoilla kameroilla, kunnes 1972 ryhdyttiin toimenpiteisiin uusien digitaalielektronikalla ohjattavien kameroiden rakentamiseksi lähinnä tulevan IMS-tutkimusjakson tarpeita varten. Uusissa kameroissa oli sama kuvausgeometria kuin alkuperäisissä ruotsalais-saksalaisen Willy Stoffregenin suunnittelemissa IGY-kameroissa (Schlegel and Lühr, 2014), mutta nyt käytettiin väriä ja parempaa optiikkaa. Toiminnan varmistamiseksi laitteet varustettiin isoilla akuilla, ja koko järjestelmä rakennettiin toimimaan luotettavasti jopa -40 asteen lämpötilassa. Uudet kamerat asennettiin vuodesta 1973 lähtien Utsjoelle, Ivaloon, Muonioon, Sodankylään, Ylikiihiminkiin ja Kilpisjärvelle. Myös Kiiirunaan tilattiin vastaavan kameran niin sanottu vientimalli, jossa oli automaattinen suojakupu. Samanlainen kamera tuli myös Sodankylän Pittiövaaran sivuasemalle. Kaikki asemat olivat hyvässä toimintakunnossa ja datankäsittelyrutiinit valmiita IMS:n alkaessa 1976.

Revontuliin liittyy voimakkaita, usein jopa miljoonan ampeerin suuruisia horisontaalisia sähkövirtoja sadan kilometrin korkeudessa maanpinnasta, ja ne synnyttävät huomattavia ajoittaisia häiriöitä maanpintamittauksiin. Näiden virtojen aiheuttamien magneettisten häiriöiden tutkimiseksi tarvittiin tiheä magnetometri verkko, jossa mittapisteen etäisyys toisistaan oli 100

kilometrin luokkaa. Yksi IMS:n tutkimuskohteista oli revontulien synnyttämät ionosfäärivirrat. Sitä varten saksalaiset tutkimusryhmät Münsterin yliopistosta ja Braunschweigin teknillisestä korkeakoulusta (Untiedt and Baumjohann, 1993), päättivät asentaa suomalaisten avustuksella yhteensä noin 40 magnetometriä Fennoskandian alueelle. Suurin osa näistä oli niin sanottuja poranreikämagnetometreja, jotka tallensivat magneettikentän vaihtelut 35 millimetrin filmille valopisteinä 10 sekunnin välein.

Münsterin datasta tehtiin revontulikuvien perusteella digitointipäätökset, jonka mukaan opiskelijat muutaman kuukauden aikana muuttivat filmien valopisteet numeroiksi ja vektoriarvoiksi. Hyvä kalibrointi takasi datan laadun. Ilmatieteen laitoksella kehitettiin rinnalle revontulikuvien digitointiohjelma, jolla revontulimuodot saatiin projisoitua samalle karttapohjalle magneettisten vektoreiden kanssa. Tulokset olivat ainutlaatuisia, mutta vaativat kovaa käsityötä, mistä johtuen jokainen digitointipäätös vaati syvällisen ennakoanalyysin ja kokouksen.

Vuonna 1975 saksalainen Max Planck -instituutti Lindaussa ehdotti 144 MHz kaksois-tutkajärjestelmän (STARE) rakentamista Suomeen ja Norjaan. Trondheimin Malvikiin Norjassa ja Suomessa Hankasalmen Sauvamäkeen rakennettiin tutkajärjestelmä, joka käynnistyi tammi-kuussa 1977. Tutka pystyi revontulikorkeudelta mittaamaan ionisoituneen plasman liikkeen ja siihen liittyvän sähkökentän 20 x 20 kilometrin ruuduissa 20 sekunnin välein 230 000 neliökilometrin alueella, jonka keskipisteinä oli Kilpisjärvi. SGO sijaitsee havaintoalueen kaakkoisessa kulmassa. Tämä mahdollisti ionosfäärin elektrodynamiikan tutkimisen, optiset kuvat kertoivat johtokyvystä, magnetometrit virrasta ja STARE sähkökentästä lukuisissa hilapisteissä. Yhteistyö tuotti runsaasti uusia tuloksia, mutta oli työlästä, koska jokainen tapahtuma oli lähes käsin työstettävä.

IMS:n päätyttyä poranreikämagnetometrien verkko purettiin. EISCAT oli tulossa, ja tarvittiin uusi digitaalinen magnetometriversio pohjoiseen tukemaan EISCAT-havaintoja. Braunschweigin yliopisto päätti rakentaa seitsemän aseman verkon Suomen Lapin länsiosaan, jolle annettiin nimi EISCAT Cross. Sodankylän geofysiikan observatorio vastasi verkon asennustöistä. Data oli hyvin kalibroitu ja sen jakelu ja käyttö helppoa, joten EISCAT Cross todella täytti ne toiveet, jotka olivat syntyneet IMS:n aikana työlään, käsin työstettävän datan kanssa.

Neuvostoliitto romahti ja Saksat päättivät yhdistyä 1990-luvun alussa. Näihin aikoihin Braunschweigin ketjua rahoittava DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) oli päättänyt lopettaa EISCAT Crossin rahoittamisen, koska se oli sääntöjen mukaan jo yliaikainen. Samaan aikaan ilmoitettiin, että Saksan Liittotasavallan ja DDR:n välisiä yhteisiä tieteellisiä hankkeita voitaisiin rahoittaa varta vasten perustetusta erikoisrahastosta. Kokoonnuimme Niemegkin observatoriossa DDR:ssä tekemään hakemusta EISCAT Crossin jatkolle. Saimme aikaan hyvän suunnitelman, jossa kaikilla osapuolilla oli merkittävä rooli ja erityisesti Niemegkin observatorion tietokonekeskukselle tehtiin uudistussuunnitelma datan palvelukäsittelyä varten. Dr. Hermann Lühr edusti Braunschweigin teknillistä korkeakoulua, joka oli laitevastuussa ja hän ehdotti, että verkolle on

annettava uusi nimi. Päädyttiin nimeen IMAGE (International Monitor of Auroral Geomagnetic Effects) ja hakemus lähetettiin DFG:lle ja hyväksyttiin ensimmäisenä pilottiprojektina yhdistyneiden Saksojen tiedeohjelmassa. IMAGE alkoi tuottaa organisoidusti digitaalista magneettikenttädataa ja vähitellen verkko kasvoi seitsemästä perusasemasta käsittämään yli 30 magnetometriasemaa, joista osa toimii Huippuvuorilla.

Cluster-satelliittiohjelman (laukaisu 2000) tukemista varten haluttiin koko Pohjois-Euroopan alueella toimivalle maanpintamittausjärjestelmälle antaa yhtenäinen nimi. Ehdotin verkolle nimeä MIRACLE (Magnetometers Ionospheric Radars Allsky Cameras Large Experiment). MIRACLE:sta tuli erityisesti Clusterin aikana tärkeä työkalu tutkijoille ja se tuotti ja tuottaa yhä huomattavan määrän uusia tutkimustuloksia. Hyvä esimerkki MIRACLE:n kansainvälisestä käytöstä on artikkelissa Syrjäso et al., 1998.

### Rakettikokeilla magnetosfäärin nielua (cusp) tutkimassa

Revontulia synnyttävät aurinkotuulen hiukkaset pääsevät sisään magnetosfääriin vain rajoitetuista paikoista. Magneettisten napojen yläpuolella olevat ”aukot tai nielut”, joista käytetään englanninkielistä nimeä cusp, ovat kaikkein avonaisimpia aukkoja maapallon magneettisen vaipassa ja niistä virtaa jatkuvasti sisään aurinkotuulen matalaenergisiiä hiukkasia. Cuspit olivat 1970- ja 1980-luvuilla tutkimusyhteisöjen suuren mielenkiinnon kohteina. Niitä tutkittiin maanpintalaitteilla kuten ionosondeilla, fotometreilla ja raketeilla, joissa oli sopivat tieteelliset mittalaitteet. Tutkimuksessa käytettiin myös suunnattuja barium-kaasun hehkuvia latauksia, jotka ionisoituaan paljastivat visuaalisesti cuspin sähkökentän rakennetta. Raketin onnistunut laukaisu edellytti cuspin sijainnin tarkkaa määrittystä, koska sen paikka saattoi muuttua hyvinkin nopeasti aurinkotuulen häiriöiden vaikutuksesta.

### Periquito 1975

Neljä USA:n ja Kanadan tutkimuslaitosta (Los Alamos Scientific Laboratory ja Alaskan yliopisto, Sandia Laboratories ja National Research Council of Canada) olivat jo useaan otteeseen 1970-luvun alkupuolella vieneet raketilla barium-latauksia avaruuteen ja tutkineet ionisoituneen barium-kaasun liikettä räjäytyksen jälkeen paikalla vallitsevan sähkökentän määrittämiseksi. Marras-joulukuussa 1975 oli tarkoitus toteuttaa koesarjan kaksi seuraavaa laukaisua Pohjois-Kanadassa Cape Parryssa viemällä barium-lataukset 500 kilometrin korkeuteen Auringon valoon, missä räjäytykset suoritettaisiin. Tarkoituksena oli tutkia cuspin eteläreunan ilmiöitä, mistä johtuen magnetosfäärin tilan reaaliaikainen monitorointi oli avainasemassa kokeen onnistumiselle.

Paikan päällä keskipäivän cusp sin sijainti määriteltäisiin kahdella eri magneettisella leveysasteella sijaitsevalla ionosondilla. Magnetosfäärin tilan vakaus määriteltäisiin samanaikaisilla yöpuolen revontulialueen mittauksilla.

Walter Heikkilan ryhmä oli mukana tässä kokeessa ja Heikkila ehdotti, että Sodankylässä tehtäisiin tukimittauksia magnetosfäärin tilan arvioimiseksi. Tämä oli todella haastava ajatus aikana ennen internetiä ja muuta digitaalista tiedonsiirtoa. Puhelutkin piti tilata kaukopuheluina ja linjat olivat epäluotettavia. Rakensimme suoran telex-yhteyden Ilmatieteen laitoksen Sodankylän palloluotaamon kaukokirjoittimen ja Los Alamosin tutkimuslaboratorion välille. Pienen harjoittelun jälkeen yhteys alkoi toimia. Sodankylän geofysiikan observatorio tarjosi kokeen ajaksi magneettikenttä-, mikropulsaatio-, riometri-, fotometri-, ionosondi-, maavirta- ja revontulitutkatdataa. Kukaan maailmassa ei ollut aikaisemmin toteuttanut tällaista hanketta, oli siis luotava uusia työmenetelmiä. Heti alusta oli selvää, että mitään reaaliaikaista dataa ei pystyttäisi kaukokirjoittimella siirtämään, minkä vuoksi kehitettiin aktiivisuusindeksimenetelmä, jossa subjektiivisesti eri datoja tulkitsemalla annettiin 15 minuutin välein aktiivisuusindeksit välillä 0–9. Pohjana käytettiin periaatteessa kaikkea Suomessa rekisteröityä dataa, mutta SGO:n mittaukset olivat tärkeimpiä.

Päivystyksistä SGO:ssa vastasivat Walter Heikkila ja Risto Pellinen sekä SGO:n väki: Eero Kattaja, Tauno Turunen, Aarne Ranta ja Tarmo Mustonen. Raketit ammuttiin 25. ja 28.11.1975 keskiyön aikaan. Olin silloin päivystämässä ja saatoin ilmoittaa Los Alamosiin, että kaksi ensimmäistä indeksiä oli yksi ja sitten kaikki loput läpi koko yön nolli. Cusp pysyi siis paikoillaan ja kirjoitin telex-sanomaan: *”Hope your rockets hit the right spot in the cleft. If some further data needed contact us. It was a pleasure to work with you, Heikkila is returning to Dallas tomorrow. Good bye.”*

Vaikka tämä pieni projekti saattaa tuntua mitättömältä nykyajan näkökulmasta, on siinä paljon ihailtavaa ja ihmeteltävää. Sodankylän geofysiikan observatorion vankka laiteosaaminen ja rekisteröintien tuominen samaan huoneeseen reaaliaikaista tarkastelua varten oli sinänsä suuri tulos. Tietojen muokkaaminen käyttökelpoiseen muotoon ja lähettäminen päätöksentekoa varten toiselle puolelle maapalloa oli oma haasteensa, jossa onnistuttiin. Telex-linjat katkeilivat jatkuvasti, mutta kumpaankin laukaisuun saatiin välitettyä tieto rauhallisesta yöpuolesta. Vaikka emme osallistuneet tulosten tieteelliseen analyysiin, opimme valtavasti kansainvälisestä reaaliaikaisesta yhteistyöstä, mistä oli hyötyä tulevassa avaruustoiminnassa.

## Dayside Cusp -mittaukset vuonna 1988

Sodankylän geofysiikan observatorio vastasi Suomen ensimmäisestä raketikokeesta. Sen mukana lentänyt magnetometri oli Suomen toinen avaruudessa lentänyt instrumentti. Raketti laukaistiin Norjasta, Andoyalta 17.12.1988 ja se suunnattiin suoraan cuspiin, jonka sijainti oli Huippuvuorten länsipuolella. Myös tässä kokeessa oli mukana Alaskan yliopiston toimittamia barium-la-

tauksia, jotka laukaistiin eri hetkillä lennon aikana. Maanpinta-asetat seurasivat barium-pilvien liikettä ja raketissa mukana olleet hiukkas- ja röntgeninstrumentit mittasivat varattujen hiukkasten liikkeitä. Tanskan avaruustutkimusinstituutin ja SGO:n (Aarne Ranta) yhdessä toimittama herkkä magnetometri mittasi magneettikentän voimakkuutta raketin pyöriessä, jolloin saatiin rekisteröityä kaksi komponenttia pyörimisakselia vastaan kohtisuorassa tasossa.

Sodankylän geofysiikan observatorio rakensi laitteen elektroniikan, hoiti tulosten reaaliaikaisen rekisteröinnin lennon aikana, vastasi laitteiston testauksesta ja integroinnista ja lopulta osallistui datan muokkaukseen ja tulkintaan. Myös Oulun yliopisto teki osuuksia alihankintatyönä. Tanskalaiset johtivat projektia ja toimittivat magneettisen anturilaitteen. Hanke onnistui täydellisesti, raketti osui cuspiin ja mallintamalla pystyttiin laskemaan magneettikentän suuntaiset sähkövirrat, joita verrattiin pienien energisten hiukkasten vuomittauksiin. Tätä hanketta voidaan hyvällä syyllä pitää Sodankylän geofysiikan observatorio ”kisällinäytteenä” avaruusaikaan siirtymisen yhteydessä.

## Loppusanat

Tämä on varsin lyhyt yhteenveto kaikista niistä toimista, joilla Sodankylän geofysiikan observatorio lähti mukaan kansainväliseen avaruusyhteistyöhön. Tapahtumat ovat lähinnä pioneerivaiheen tuokiokuvia ja ne on rajattu etupäässä 1970- ja 1980-luvuille, mutta paljon on tapahtunut myös tämän jälkeen. Hallinnollisesti olin mukana SGO:n toiminnassa Suomen Akatemian asettaman EISCAT-työryhmän puheenjohtajana vuosina 1984–1987 ja EISCAT-seurantaryhmän jäsenenä saman kauden. Tuolloin nostettiin suomalainen EISCAT-tutkimustyö huipulle ja luotiin tekniset ja tieteelliset edellytykset datan tehokkaaseen käsittelyyn sekä SGO:ssa että Oulun yliopistossa.

Toinen tehtävä, jonka kautta jouduin syventymään Sodankylän geofysiikan observatorion toimintaan oli Suomalaisen Tiedekatemian asettaman observatoriotoimikunnan puheenjohtajuus vuosina 1992–1997. Tuolloin käytiin intensiivinen kampanja Sodankylän geofysiikan observatorion tulevan aseman määrittämiseksi. Se saatiin päätökseen kesällä 1997, jolloin SGO siirtyi Oulun yliopiston alaisuuteen valtakunnalliseksi erillislaitokseksi (ks. Jorma Kankaan ja Lauri Lajusen kirjoitukset). Viimeisenä iltana ennen siirtymistä järjestettiin SGO:ssa juhallinen tilaisuus, jossa minulla puheenjohtajana oli kunnia jakaa Kauppakamarin ansiomitalit lähes koko henkilökunnalle. Tämän jälkeen jatkoin erillislaitoksen johtokunnan jäsenenä vuosina 1997–2005.



# 5.4

## SODANKYLÄN GEOFYSIIKAN OBSERVATORIO TIEDELAITOKSENA JA YHTEISKUNNALLISENA VAIKUTTAJANA

Lauri Lajunen

Suomalaisen Tiedeakatemian alaisuudessa vuodesta 1913 toiminut Sodankylän geofysiikan observatorio siirtyi 1.8.1997 Oulun yliopiston yhteyteen valtakunnalliseksi erillislaitokseksi. Observatorion siirtoa juhlistettiin Sodankylässä monin tavoin. Yleisölle järjestettiin avoimien ovien päivä, kaikille avoin yleisöjuhla sekä rehtorin vastaanotto kutsuvieraille. Lisäksi henkilökunta ja observatorion edelliset ja uudet omistajat juhlivat tapahtumaa keskenään Tähtelässä.

Saavuin 31.7.1997 illalla Tähtelään, jossa henkilökunnan tilaisuus oli jo käynnissä täydessä vauhdissa. Vähän ennen vuorokauden vaihtumista siirryin johtaja Tauno Turusen ja Suomalaisen Tiedeakatemian edustajien kanssa lipputangon luo. Kun kello tuli tasan 24:00 Suomalaisen Tiedeakatemian edustajat vetivät oman siniristilippunsa alas, jonka jälkeen yhdessä Tauno Turusen kanssa nostimme Oulun yliopiston sinivalkoisen leijonalipun salkoon merkiksi isännän vaihdoksesta. Tapahtuma oli sekä historiallisesti merkittävä että kaikkia osapuolia ilahduttava. Kauan itänyt ajatus observatorion liittämistä Oulun yliopistoon oli nyt toteutunut.

Siirrolle oli tiedeyhteisön vankka tuki, mutta se oli erittäin merkittävä asia myös Sodankylän kunnalle sekä koko Keski- ja Pohjois-Lapille. Rehtorina minulla oli mieluisaa kokea miten hyvin Oulun yliopisto otettiin vastaan Sodankylässä. Sanomalehti Lapin Kansassa iloittiin siitä, että Sodankylä siirtyy akateemiseen aikaan ja Pohjolan Sanomat kirjoitti, että yliopistoaika alkoi Sodankylässä.

Yliopisto käynnisti Sodankylän kunnan kanssa heti yhteistyön ja kutsui kunnanjohtaja Martti Puran observatorion johtokuntaan. Martti Puran mukaan ”Oulun yliopiston tulo Sodankylään oli historiallinen ratkaisu, josta Sodankylän ja koko Pohjois-Lapin kehittäminen sai uutta

voimaa sekä tärkeitä henkisiä että aineellisia resursseja.” Observatorio on myös yksi suurimmista työnantajista Sodankylän kunnassa.

Muutoksilla on yleensä aina vastustajansa. Tässä suhteessa tämä hallinnollinen siirto oli poikkeus. Observatorion siirtoa Oulun yhteyteen ei kukaan vastustanut. Useat työryhmät olivat myös aiemmin mietinnöissään esittäneet observatorion liittämistä Oulun yliopistoon. Viimeksi Matti Hosian työryhmä syksyllä 1994.

Kun Hosian työryhmän esitys tuli julki, otti johtaja Tauno Turunen välittömästi minuun yhteyttä ja tiedusteli Oulun yliopiston kantaa asiaan. Yliopiston kanta oli selvä alusta alkaen. Siirrosta hyötyisivät kumpikin osapuoli sekä observatorio että yliopisto. Oulun yliopiston tiedepohja, sen uudet strategiset linjaukset ja pohjoinen sijainti puolsivat kaikki tätä ratkaisua. Observatorion henkilökunta oli suurelta osalta Oulun yliopiston kasvatteja ja laitos oli jo toiminut vuosia kiinteässä vuorovaikutuksessa ja yhteistyössä yliopiston kanssa. Observatorion toiminnassa olivat olleet mukana Oulun yliopiston professoreista erityisesti Juhani Oksman, Pekka Tanskanen, Sven-Erik Hjelt ja Jorma Kangas.

Neuvottelut yhteistyön kehittämiseksi Sodankylän geofysiikan observatorion ja Oulun yliopiston välillä etenivät vauhdilla. Samalla laadittiin suunnitelma observatorion liittämiseksi lähitulevaisuudessa yliopistoon. Yliopiston ja observatorion välinen yhteistyösopimus allekirjoitettiin Sodankylässä helmikuussa 1995.

Allekirjoitustilaisuudessa pohdittiin mitä yhteistyö tarjoaa observatoriolle, yliopistolle, kunnalle sekä Keski- ja Pohjois-Lapille. Barentsin alueen yhteistyö ja pohjoisuuteen liittyvät teemat olivat nousseet julkisessa keskustelussa voimakkaasti esille. Suomi oli juuri liittynyt Euroopan Unioniin. Lisäksi ennakoitiin kaivannaisalan nousua ja sen tarjoamia mahdollisuuksia. Yliopistoja kehoitettiin lisäämään alueellista vaikuttavuuttaan tekemällä yhteistyötä keskenään sekä muiden tutkimuslaitosten, kuntien ja yritysten kanssa. Nämä kaikki yhdessä tarjosivat hyvät mahdollisuudet observatorion toiminnan kehittämiseksi yliopiston yhteydessä.

Yliopiston näkökulmasta observatorion siirto osaksi yliopistoa oli ihanteellinen. Observatorio oli jo tuolloin hyvin kansainvälinen ja siellä tehtävä tieteellinen tutkimus korkeatasoista. Yliopiston tutkijoille ja opiskelijoille Tähtelän tutkimusympäristö tarjosi erinomaiset mahdollisuudet tieteelliseen tutkimustyöhön, joihin voitiin liittää opinnäyte- ja väitöskirjatöitä.

Opetus- ja kulttuuriministeriön kanssa sovimme, että observatorion perusrahoitus tulee turvata ja että siirrosta ei saa tulla yliopistolle taloudellista rasitetta. Sopimuksen mukaisesti opetus- ja kulttuuriministeriö on vastannut observatorion perustoiminnan rahoittamisesta lisäämällä Oulun yliopiston rahoitukseen vuosittain observatorion toimintaan tarkoitettua korvamerkityn määrärahan. Aluksi rahoituksen perustana oli observatorion asema valtakunnallisena erillislaitoksena ja sittemmin yliopiston aluetoiminta. Observatorion itse hankkima täydentävä rahoitus on ollut merkittävä. Lisäksi yliopisto on tulosneuvottelujen yhteydessä myöntänyt observatoriolle tuloksellisuusrahaa ja osallistunut laiteinvestointeihin.

Vuosi 1994 jää yliopiston historiaan toimintastrategian uudistamisen, rakenteellisen kehittämisen ja tulosjohtamiseen siirtymisen vuotena. Samalla vuosi 1994 oli Suomen korkeakoulu-laitoksen historiassa jo kolmas peräkkäinen vuosi, jolloin valtion budjettimäärärahat vähenivät edellisiin vuosiin verrattuna. Perinteinen toimintamalli ei enää taannut menestystä. Rakenteita, toimintatapoja ja -kulttuuria tuli muuttaa. Täydentävä, ulkopuolinen rahoitus, tuloshakuisuus ja resurssien tehokas käyttö sekä strategisten yhteistyökumppaneiden hakeminen nousivat keskeiseen asemaan yliopistojen toiminnassa.

Oulun yliopistossa laadimme Suomen yliopistoista ensimmäisenä koko yliopistoa kattavan strategian, jonka yliopiston hallitus vahvisti vuonna 1994. Olimme myös maamme ensimmäinen yliopisto, joka pystyi määrittämään koko yliopistoa kattavat painoalansa. Ne olivat biotekniikka, informaatiotekniikka ja pohjoisuus. Sodankylän geofysiikan observatorion toiminta sopi hyvin pohjoisuus-teemaan. Lähiavaruuden tutkimus oli jo osa yliopiston tutkimustoimintaa ja Oulussa toimi sitä varten perustettu avaruustutkimus vahvistui merkittävästi. Myöhemmin observatorion toiminnan kehittyessä ja yliopiston lisätessä kolmanneksi painoalaksi ympäristöalan, toimi observatorio kolmella yliopiston painoalalla, jotka olivat tietotekniikka, pohjoisuus ja ympäristö.

Yhteiskunnallinen vuorovaikutustehtävä nousi 1990-luvun alussa yhä voimakkaammin esille yliopistojen toimintaa kehitettäessä ja yliopistolakia uudistettaessa vuonna 1998 siitä tuli yliopistoille virallinen niin sanottu kolmas tehtävä. Oulun yliopisto aktiivisesti kehitti ja toteutti tätä tehtävää omalla toiminta-alueellaan. Vuonna 1994 toimintansa aloittivat neuvottelukunta ja maaseutuneuvottelukunta yliopiston yhteiskuntasuhteiden ja vuorovaikutuksen lisäämiseksi. Toiminnassa otettiin huomioon erityisen painavasti yliopiston laajan toiminta-alueen tarpeet, Euroopan Unionin ohjelmien hyödyntäminen ja teknologian siirron kehittäminen.

Sodankylän geofysiikan observatoriosta tuli Oulun yliopiston alueelliselle toiminnalle maantieteellisesti pohjoisen toimipiste. Merkittävää alueellista toimintaa ja yhteistyötä yliopistolla oli tuolloin Oulun kaupungin lisäksi Kajaanin, Kemi-Tornion, Raahen, Kuusamon ja Ylä-Savon alueilla. Alueyksiköissä yliopisto hakeutui muiden alueella olevien merkittävien toimijoiden kanssa yhteistyöhön. Keskeisiä yhteistyökumppaneita Sodankylässä olivat Sodankylän kunta, Ilmatieteen laitoksen Sodankylän observatorio ja Avaruuskylä Oy sekä Lapin yliopisto. Tavoitteeksi asetettiin, että observatorio toimii oman erikoisosaamisensa ohella myös Oulun ja Lapin yliopistojen yhteisenä alueellisena kehittämissäikkönä Keski- ja Pohjois-Lapin alueella. Tätä varten perustettiin Oulun ja Lapin yliopistojen sekä Sodankylän kunnan yhteinen yritys- ja tutkimusasiain miehen toimisto Sodankylän geofysiikan observatorion alaisuuteen Lapin liiton ja EU:n sosiaalirahaston rahoittamana. Observatorion tutkijat tekivät myös kiitettävästi yhteistyötä toiminta-alueensa koulujen kanssa. Oppilaille he kävivät kertomassa luonnontieteistä ja järjestivät tutustumiskäyntejä observatorioon.



Oulun yliopiston rehtori Lauri Lajunen ja Sodankylän geofysiikan observatorion johtaja Tauno Turunen nostavat Suomen Leijona-lippua salkkoon, kun observatorio yhdistyi osaksi Oulun yliopistoa 1.8.1997. (Kuva: Lauri Lajunen)

Observatorion emeritus johtaja Eero Kataja (oik.) ja Airi Kataja Oulun yliopiston rehtorin vastaanotolla 1.8.1997. Kuvassa vasemmalla Marja Lajunen ja Lauri Lajunen. (Kuva: Lauri Lajunen)

Oulun yliopiston ja Sodankylän kunnan välisen yhteistyösopimuksen allekirjoitustilaisuudessa (10.6.2013) Sodankylässä esitin ajatuksen, että observatorion alueellista vaikuttavuutta voitaisiin entisestään lisätä perustamalla Sodankylään observatoriovetoinen ”innovaatiokeskittymä tai -keskus”. Sen toiminta pohjautuisi alueen tutkimuslaitosten ja yritysten osaamiseen ja keskeisiä toimijoita siinä olisivat observatorion lisäksi Ilmatieteen laitos, Sodankylän kunta, Lapin yliopisto ja alueen yritykset. Johtaja Esa Turunen sekä kunnanjohtaja Viljo Pesonen lämpenivät heti ajatukselle ja lähtivät selvittelemään miten asia voitaisiin toteuttaa.

Vuoden 1995 aikana laadittiin professori Jorma Kankaan johdolla yliopiston pohjoisuus-painoalalle oma kehittämisstrategia, jossa määriteltiin neljä ns. kulmakiviohjelmaa. Näistä yksi oli avaruustutkimus polaarialueilla. Tämän kulmakiviohjelman mukaista tutkimusta suunniteltiin ja toteutettiin Oulun yliopiston avaruustutkimusryhmän ja Sodankylän geofysiikan observatorion yhteistyönä. Ohjelmassa ennakoitiin, että aurinkokunnan tutkimus tulisi olemaan avaruustieteen painoala siirryttäessä 2000-luvulle. Oulun yliopiston kannalta tämä viesti oli erinomainen, sillä sekä yliopistossa että observatoriossa oli jo pitkä perinne tällä alalla. Laajoista tutkimushankkeista mainittakoon EISCAT-tutkimusohjelma, ESA:n Cluster-satelliittiohjelma ja molempia tukeva maanpinnanmittaustoiminta. Oulun ja Sodankylän tutkijoilla oli sekä kansallisia että kansainvälisiä vastuita EISCAT- ja Cluster-ohjelmissa. Strategisissa linjauksissa korostettiin pyrkimystä lisätä

avaruustiedon taloudellisen hyväksikäytön tehostamista maassamme.

Jo ensimmäisestä toimintavuodesta lähtien Oulun yliopiston erillislaitoksena observatorio on ollut eri tunnusluvuihin mitattuna erittäin tuloksellinen ja se on nostanut yliopiston tutkimustoiminnan laatua ja määrää, tuonut yliopiston toimintaan kansainvälisyyttä sekä lisännyt yliopiston yhteiskunnallista vaikuttavuutta.

Observatorio nimettiin Oulun yliopiston fysikaalisten tieteiden laitoksen avaruustutkimusryhmän kanssa yhdeksi tutkimuksen huippuyksiköksi vuonna 1997, kun yliopiston hallitus nimesi ensimmäisen kerran kahdeksan yliopiston sisäistä tutkimuksen huippuyksikköä. Valintakriteereinä käytettiin tutkimuksen määrää ja laatua, tutkimusryhmän rakennetta ja elinvoimaisuutta, julkaisutoimintaa, ulkopuolisen rahoituksen määrää, kansainvälisiä kontakteja, tutkimuksen yhteiskunnallista vaikuttavuutta ja tutkimuksen tulevaisuuden näkymiä. Observatorion tutkijoiden tasoa kuvaa muun muassa se, että tutkimusprofessori Markku Lehtisen tutkimusryhmä on nimetty osaksi valtakunnallista inversiomatematiikan huippuyksikköä. Lisäksi kaksi observatorion johtajaa Tauno Turunen ja Esa Turunen ovat toimineet EISCAT-järjestön pääjohtajina.

Observatorio on osallistunut suomalaisen tutkijakoulun “Graduate School in Solar Terrestrial Physics” toimintaan ja on ollut aloitteellinen kehitettäessä Sodankylän alueen huipputekniikan yritystoimintaa ja se on ollut perustamassa Sodankylän avaruuskylää. Observatorion tutkimustulosten sovellutukset ovat luoneet yritystoimintaa Sodankylään.

Sodankylän geofysiikan observatorion ja Ilmatieteen laitoksen välinen yhteistyö syveni ja laajeni, kun laitosten yhteinen päärakennus valmistui Tähtelään vuonna 2001. Hanke oli ensimmäisiä valtiovallan uusien linjausten mukaisia hankkeita maassamme. Yliopistoja kehoitettiin tiivistämään yhteistyötään valtion tutkimuslaitosten kanssa. Yhteinen päärakennus mahdollisti laitteiden, laboratorioden ja muiden tilojen tehokkaan ja taloudellisen yhteiskäytön sekä lisäsi laitosten tutkijoiden välistä yhteistyötä.

Oulun ja Helsingin yliopistot kirjoittivat yhteistyösopimuksen vuonna 1995. Tämän jälkeen yliopistojen rehtorit kokoontuivat säännöllisesti vuosittain. Keskeiseksi teemaksi nousi yliopistojen tutkimusasemien yhteistyön kehittäminen. Tapaamisetkin järjestettiin pääsääntöisesti tutkimusasemilla. Tähtelässä pidetyssä kokouksessa pohdittiin taas kerran tutkimusasemien toiminnan kehittämistä ja niiden välisen yhteistyön tiivistämistä. Esille nousi EU:n “Large Scale Facility” -ohjelma. Tuolloin observatorion johtajana toimineelle Jorma Kankaalle rehtorit antoivat tehtäväksi valmistella “Large Scale Facility” -hanke yhteistyössä muiden Pohjois-Suomen tutkimuslaitosten kanssa. Tuloksena syntyi vuonna 2001 alkanut LABPIAT -hanke, johon osallistuivat kaikki Lapissa sijaitsevat tutkimusasemat sekä Oulangan tutkimusasema.

Merkittävä vaihe Sodankylän geofysiikan observatorion historiassa oli Suomen suurimman radioteleskoopin käyttöönotto Kilpisjärvellä kesäkuussa 2013. KAIRA-vastaanotin on uuden sukupolven radiotieteellinen havaintoasema, jolla tutkitaan maan ilmakehän eri kerroksia ja avaruutta lähiavaruudesta syvään avaruuteen saakka. KAIRA:lla tutkitaan muun muassa revon-

tulina näkyvien, Auringosta saapuvien sähköisten hiukkasten aiheuttamia kemiallisia muutoksia yläilmakehässä.

KAIRA on toistaiseksi suurin yksittäinen observatorion laiteinvestointi. Oulun yliopisto rahoitti tästä 1,26 miljoonan euron hankkeesta lähes 38 %. Vihkiäispuheessani totesin, että ”Oulun yliopiston tavoitteena on olla vahva kansainvälinen tutkimuspainotteinen yliopisto. Sodankylän geofysiikan observatorio edustaa tutkimuksen kärkeä parhaimmillaan. Se tekee kansainvälisesti korkeatasoista perustutkimusta, jolle on nähtävissä suorat käytännön sovellukset”.

Sodankylän geofysiikan observatorion liittäminen Oulun yliopistoon on ollut kiistatta hyvä ratkaisu. Se on vahvistanut Oulun yliopiston asemaa kansainvälisenä tiedeyliopistona ja lisännyt yliopiston yhteiskunnallista vaikuttavuutta. Samalla observatorion toimintaedellytykset ovat parantuneet ja sen rooli alueellisena vaikuttajana vahvistunut. Sodankylän geofysiikan observatorio on Pohjois-Suomen vanhin tiedelaitos ja siitä on kehittynyt Lapin kansainvälisin tutkimusyksikkö.



# 5.5

## OBSERVATORION YHTEISKUNNALLINEN MERKITYS – ALUEELLISET JA KANSALLISET ULOTTUVUUDET

Jyrki Manninen

Geofysiikan observatorio on toimintansa alusta saakka ollut tärkeä osa yhteiskuntaa Sodankylän alueella. Observatorion rakennusvaiheet 1910-luvulla ja laajennukset 1930-luvulla sekä toisen maailmansodan jälkeiset uudisrakentamiset olivat merkittävä paikkakuntalaisia työllistäviä kohteita. Myös observatorion henkilökunnasta osa on rekrytoitu Sodankylän alueelta.

### Yhteistyö Sodankylän kunnan kanssa

Vaikka yhteistyö Sodankylän kunnan kanssa oli ollut vilkasta jo vuosien ajan, varsinainen toiminta käsitti lähinnä observatorion johtaja Eero Katajan henkilökohtaisten kunnallisten luottamustoimien hoitamisen. Kun Sodankylän kunnanjohtajaksi valittiin vuonna 1994 Suomen Keskustan entinen ministeri ja kansanedustaja Martti Pura (1949–), alkoi erilaisten vierailijoiden rynnistys Tähtelään. Martti Puran kunnanjohtajuus kesti vuoteen 2005 saakka. Hänellä oli selkeä kuva Tähtelän merkityksestä kunnalle, minkä vuoksi kunnanjohtaja pyrki tuomaan lähes kaikki tärkeät vieraansa tutustumaan myös Tähtelään. Tällä on varmasti ollut vaikutusta koko Tähtelän alueen tunnettavuuden kasvuun.

Usein Pura soitti observatorion johtajalle vasta, kun vieraat olivat jo matkalla Tähtelään. Vierailuihin suhtauduttiin hyvin vakavasti, koska 1990-luvun puolessa välissä valmisteltiin Sodankylän geofysiikan observatorion liittämistä Oulun yliopistoon ja observatorion tunnettavuuden katsottiin parantavan asemia liittymisneuvotteluissa. Toisaalta entisenä ministerinä Martti Puralla oli erinomaiset suhteet valtion ylimpään johtoon ja näitä suhteita hän myös käytti hyväkseen.

Kunnanjohtaja halusi Tähtelän alueen vaikuttavan entistä enemmän kunnan kehittymiseen. Tähän liittyi myös Sodankylän Astropoliksen perustaminen osaksi Pohjois-Suomen teknologiayrittäjien Multipolis-yhteistyöverkosta.

Tässä toiminnassa mukana oli observatorion laboratorioinsinööri Aarne Ranta, joka vuosina 2000–2001 työskenteli Oulun ja Lapin yliopistojen yhteisenä yritys- ja tutkimusasiamiehenä.

Lukuisten selvitysten ja päätösten jälkeen Suomalaisen Tiedeakatemian geofysiikan observatorio liitettiin vuonna 1997 Oulun yliopiston erillislaitokseksi, jolla oli valtakunnallinen tehtävä.

Observatorion johtaja Tauno Turusen siirryttyä vuoden 1997 lopussa EISCAT:in johtajaksi hänen sijaisekseen tuli prof. Jorma Kangas Oulun yliopistosta. Hän otti aktiivisesti osaa kunnan kehittämistoimiin ja tästä syystä Kangas valittiin lukuisiin työryhmiin ja komiteoihin Sodankylän kunnassa. Yliopistoon liittymisen jälkeen observatorion hallinto muuttui huomattavasti, kun henkilökunnan oli omaksuttava yliopiston mukanaan tuomat aikaisempaan verrattuna varsin erilaiset käytänteet. Toisaalta yliopiston niin sanotun kolmannen tehtävän (tutkimuksen ja korkeimman opetuksen lisäksi), eli yhteiskunnallisten tehtävien katsottiin sopivan erinomaisesti observatorion toimintaan.

Oulun yliopiston rehtori Lauri Lajunen antoi vuonna 2006 observatoriolle tehtäväksi valmistella Oulun yliopiston ja Sodankylän kunnan välinen yhteistyösopimus. Hyvästä yrityksestä huolimatta valmisteluasiakirjat jäivät eri osapuolten pöytälaatikoihin. Vasta vuonna 2012 sitä ryhdyttiin jälleen viemään eteenpäin. Lopulta kesäkuussa 2013 Oulun yliopiston ja Sodankylän kunnan välinen sopimus allekirjoitettiin rehtori Lauri Lajusen vieraillessa Sodankylässä.

### Innovaatiokeskusta suunnittelemaan

Allekirjoitustilaisuudessa kunnan edustajat esittivät ajatuksensa Tähtelään perustettavasta soveltavan tutkimuksen keskuksista. Rehtori kuitenkin halusi viedä ajatusta vielä pitemmälle ja vaati, että Sodankylään ryhdytään valmistelemaan innovaatiokeskusta samaan tapaan kuin Oulussa ja Kajaanissa.

Rehtorin vaatimus sai heti tuulta allensa ja kunnassa alkamassa ollut AGM-hanke (Arctic Green Mining) valjastettiin ajatuksen eteenpäin viemiseen. Tässä hankkeessa selvitettiin minkälaisella konseptilla yliopistot, tutkimuslaitokset, yritykset ja muut sidosryhmät voisivat tarttua AGM:n tarjoamiin mahdollisuuksiin ja Sodankylän potentiaaliin kyseisellä sektorilla.

Sodankylän kunta ja Sodankylän geofysiikan observatorio halusivat testata Lappiin perustettavan innovaatiokeskuksen ideaa ja selvittää, millä edellytyksillä ja toimintamallilla Sodankylän innovaatiokeskus voitaisiin käynnistää. Luostolla järjestetyssä tilaisuudessa Ilmatieteen laitoksen pääjohtaja Petteri Taalas, Geologian tutkimuskeskuksen pääjohtaja Elias Ekdahl ja joukko Oulun yliopiston edustajia olivat yhtä mieltä siitä, että Sodankylään ryhdytään suunnittelemaan innovaatiokeskusta.



Sodankylän innovaatiokeskuksen (CAGI) edustajia vierailulla EU:n alueiden komitean puheenjohtajan Markku Markkulan toimistossa Brysselissä keväällä 2015. Neljäs vasemmalta on Markku Markkula, edessä keskellä Osmo Aulamo (Ilmatieteen laitos) ja kolmas oikealta Jyrki Manninen (Sodankylän geofysiikan observatorio). (Kuva: EU)

Marraskuun 2013 aikana ohjausryhmän edustajat kävivät esittelemässä Innovaatiokeskushanketta Lapin liiton, Lapin ammattikorkeakoulun, Rovaniemen kaupungin ja Lapin yliopiston edustajille. Hankkeeseen suhtauduttiin erittäin myönteisesti. Lisäksi Lapin liiton maakuntajohtaja Mika Riipi totesi innovaatiokeskuksen hankkeiden poistavan omalta osaltaan Lappiin syntyntä innovaatiotyhtiötä. Riipi suhtautui myönteisesti mahdolliseen strategia- ja toimintaohjelmahankkeeseen.

Tammikuussa 2014 Rovaniemelle kokoontui ryhmä innovaatiokeskuksesta kiinnostuneita organisaatioidensa edustajia. Osa oli ollut mukana alusta alkaen, osa kiinnostunut matkan varrella. Viimeisimpänä tulokkaana on Helsingissä toimiva Maanmittauslaitoksen paikkatietokeskus (entinen Geodeettinen laitos).

Tässä tapaamisessa päätettiin Sodankylän innovaatiokeskuksen eli Center for Arctic Geoinnovations (CAGI) strategia ja toimintaohjelmahankkeen laatimisesta. Mukaan hankkeeseen ilmoittautuivat: Sodankylän geofysiikan observatorio, Lapin ilmatieteellinen tutkimuskeskus, Geologian tutkimuskeskus, Paikkatietokeskus, Lapin yliopisto, Lapin ammattikorkeakoulu, Digipolis Oy ja Sodankylän kunta.

### CAGI:lle strategia ja toimenpideohjelma

Lapin liitto myönsi keväällä 2015 maakunnan kehittämistä Arktisen geoinnovaatiokeskuksen strategian ja toimenpideohjelman valmisteluun. Hankkeessa asiantuntijatyön tekijäksi valittiin kilpailutuksella Tukholmassa päätoimipaikkaansa pitävä alueellisen kehityksen ja urbaanin suunnittelun tutkimuskeskus Nordregio, jossa työn päävastuullinen toteuttaja oli TkT Jukka Teräs.

Valmisteluvaiheessa solmittiin innovaatiokeskukselle Nordregion asiantuntijatyön avulla kansainvälisiä yhteistyösuhteita Itä- ja Pohjois-Suomen EU-toimistoon, Pohjois-Ruotsin ja Pohjois-Norjan EU-toimistoihin. Yhteyttä pidettiin myös EU:n alueiden komitean presidentti Markku Markkulaan ja Europarlamentin jäsen Liisa Jaakonsaareen. Kansallisella tasolla innovaatiokeskuksen esittelyä toteutettiin Nordregion asiantuntijatyön kautta Paikkatietokeskuksen ja Aalto-yliopiston, Oulun yliopiston ja Oulun innovaatiokeskuksien kanssa (erityisesti painetun älyn ja optisten mittausten innovaatiokeskus PrintoCent sekä ympäristö- ja energia-alan innovaatiokeskus CEE). Nordregio esitteli valmisteluhankkeen aikana innovaatiokeskusta Sodankylän kunnanhallitukselle.

Kesällä 2016 Sodankylän kunnan omistama Tähtikunta Oy jätti yhdessä Sodankylän geofysiikan observatorion, Ilmatieteen laitoksen, Geologian tutkimuskeskuksen, Paikkatietokeskuksen, Kemin Digipolis Oy:n ja useiden Lapin kuntien kanssa rahoitushakemuksen Arktisen geoinnovaatiokeskuksen käynnistämiseksi. Päätöstä odotellaan syksyn 2016 aikana.

Sodankylän observatorion merkitys yhteiskunnallisena toimijana on kasvanut merkittävästi vuosituhanen vaihteen jälkeen erityisesti Sodankylän, mutta myös koko Lapin kannalta. Yhtenä synnä lienee eri rahoittajaorganisaatioiden vaatimus laajasta alueellisesta ja yhteiskunnallisesta yhteistyöstä uusien hankkeiden rahoittamisessa.



# Lopuksi

## Heikki Nevanlinna

Kun Sodankylässä vuoden 1914 alussa käynnistettiin säännölliset observatoriahavainnot Jaakko Keräsen johdolla, olosuhteet olivat tyystin toisenlaiset kuin nyt yli 100 vuotta myöhemmin. Observatoriossa eikä koko Lapin alueella ollut sähköverkkoa. Valaistus hoidettiin öljylampuilla ja kynttilöillä. Valtakunnallinen sähköverkko saatiin Pohjois-Suomeen vasta 1950-luvun alussa. Puhelinyhteys oli Rovaniemelle, mutta esimerkiksi kiireelliset kaukoyhteydet Helsinkiin observatorion johdolle hoidettiin lennättimellä tai pikakirjeillä. Autot olivat suuri harvinaisuus Lapin oloissa 1910-luvulla. Liikkuminen ja tavarankuljetus tapahtuivat hevoskyydillä ja talvella porojen avulla. Sodankylän kunnan asukasluku oli 1910-luvun alussa noin 5000. Hallinnollisesti Sodankylä kuului Oulun lääniin. Lapin lääni perustettiin vasta vuonna 1938.

Kun Sodankylän observatorio perustettiin, Suomi kuului suuriruhtinaanmaana Venäjän keisarikunnan alaisuuteen. Kuitenkin observatorion toiminta oli liitetty kotimaisiin organisaatioihin Suomalaiseen Tiedeakatemiaan ja Meteorologiseen keskuslaitokseen, jotka isännöivät observatorion havainto- ja tutkimustyötä sekä taloutta. Observatorion magneettiset mittaukset kuuluivat Tiedeakatemian piiriin ja meteorologinen työ taas Meteorologiselle keskuslaitokselle.

Sodankylä oli 1900-luvun alussa Suomen syrjäseutua, mutta kehitys oli hyvässä vauhdissa. Liikenteelle tärkeä maantie Rovaniemeltä Sodankylään avattiin vuonna 1902 ja tie eteenpäin Ivaloosakka valmistui vuonna 1913. Rautatieyhteydet Etelä-Suomeen nopeutuivat, kun Kemi–Rovaniemen rataosuus tuli valmiiksi vuonna 1909. Lennätinyhteys avattiin Sodankylään vuonna 1912 ja puhelinliikenne alkoi vuonna 1914. Observatoriossa oli yksi kylän ensimmäisistä puhelinliittymistä. Sen kautta välitettiin päivittäiset säätiedot Helsinkiin Ilmatieteelliselle keskuslaitokselle.

Kuntalaisten terveydenhoitomahdollisuudet kohentuivat merkittävästi, kun Sodankylään saatiin 1900-luvun alussa apteekki, kättilö ja kunnanlääkäri. Observatorio oli ruokahuollon osalta pitkälti omavarainen. Talouteen kuului hevonen, lehmiä ja poroja ja niiden laidunmaat observatorion alueella. Pihalla oli kasvi- ja perunamaa observatorion henkilökunnan käytössä.

Ionosfääri oli observatorion perustamisen aikoihin 1910-luvulla käsitteenä vielä tuntematon. Tutkijoilla oli vain heikko aavistus siitä, että ilmakehän yläosissa täytyi olla sähköä johtava kerros, jonka vaihtelut selittäisivät Maan magneettikentässä havaitut päivittäiset muutokset. Radioaalloilla tapahtuva ionosfääritutkimus alkoi maailmalla 1920-luvun lopulla. Sodankylän geofysiikan observatorion havainto- ja tutkimuskohteeksi ionosfääri tuli kuitenkin vasta kansainvälisen geofysiikan vuoden aikana 1957–1958. Kysymyksessä oli sittemmin merkittäväksi osoittautunut laajennus observatorion tehtäväkenttään. Tänä päivänä ionosfääritutkimus, laajasti ymmärrettynä, on uusien tutkimusmenetelmien ansiosta Sodankylän geofysiikan observatorion keskeisimpiä toimialoja. Observatorio on sen ansiosta noussut alan kansainvälisen tiedeyhteisön arvostuksessa korkealle.

## Observatorion pitkät havaintosarjat ovat arvokkaita

Observatorion ensimmäisten vuosikymmenien aikana päähavaintotuotteet, magneettiset ja meteorologiset mittaustulokset, painettiin taulukkojen muodossa vuosikirjoihin. Ne olivat observatoriodatojen välitysmuoto alan tutkijoille ja muille tarvitsijoille koti- ja ulkomailla. Vuosikirjan taulukkojen kokoaminen oli työlästä käsityötä: tunti-, vuorokausi- ja kuukausikeskiarvojen laskemista. Vaativimpien funktiolaskujen apuna käytettiin logaritmitauluja. Tietyn vuoden aineistojen vuosikirja ilmestyi painettuna tavallisesti useita vuosia havaintojenteon jälkeen. Nykyään observatorion lukuisista jatkuvista havaintokohteista tulevat mittaustulokset ovat melkein reaaliaikaisesti saatavilla internetin kautta. Lisäksi käytävissä on erilaisia tietokoneohjelmistoja, joiden avulla datatiedoista voi tehdä nopeasti perusanalyysiä tieteellisiä jatkotutkimuksia varten. Observatorion data-arkistosta saa kattavasti aikaisemmat digitaaliset mittaustulokset vapaasti tutkimuskäyttöön. Osa observatorion vanhoista aineistoista on digitoitu ja näin esimerkiksi magneettiset havainnot ovat saatavilla jopa vuodesta 1914 lähtien.

Sodankylän geofysiikan observatorion yli satavuotisen historian aikana tiedeyhteisön ymmärrys observatorion toimialaan kuuluvien geofysikaalisten ilmiöiden luonteesta on kasvanut ja syventynyt merkittävästi. Vielä 1900-luvun alussa tutkijoilla oli varsin vajavainen käsitys siitä, miten esimerkiksi magneettikentän hetkelliset vaihtelut ja häiriöt on tulkittava ja mitkä sähkömagneettiset tekijät ovat niitä synnyttämässä. Tiedettiin, että Auringon aktiivisuudella on tärkeä osuus magneettikentän häiriöissä. Magneettikentän havainnot ja rekisteröinnit tehtiin suurella huolella, tarkkuudella ja ammattitaidoilla. Kun nykyään tehdään magneettikentän tiedoilla tutkimuksia avaruussään ja -ilmaston hitaista vaihteluista vuosikymmenien yli, vanhat 1900-luvun alussa tehdyt mittaukset ovat edelleen käyttökelpoisia ja arvokkaita tiedonlähteitä.

Geofysikaalisia ilmiöitä selittävät teoriat kehittyvät ja muuttuvat, mutta hyvät ja luotettavat perushavainnot, varsinkin pitkinä homogeenisina aikasarjoina, säilyttävät tieteellisen arvonsa kaikkina aikoina.



Sodankylän geofysiikan observatorion tehtävät ensimmäisten vuosikymmenien aikana liittyivät magneettisiin ja meteorologisiin havaintoihin. Niistä muodostuivat observatorion päätöimialat osana kansallista havaintoverkkoa. Tiedon lisääntyessä toimintaan tuli vähitellen mukaan tutkimus jo 1930-luvun lopulla. Observatoriosta kehittyi todellinen geofysiikan laitos, kun kansainvälisen geofysiikan vuoden alussa 1957 siellä käynnistettiin ionosfääriluotaukset, seismiset rekisteröinnit ja revontulikuvaukset.

Viime vuosikymmenien aikana Sodankylän geofysiikan observatoriosta on kehittynyt kansainväliset mitat täyttävä monipuolinen tutkimuslaitos, joka ylläpitää laajaa havaintoverkosta Suomessa ja maamme rajojen ulkopuolellakin. Toimintaan kuuluvat myös mittausmenetelmien ja -laitteiden kehitys ja tulosten julkaiseminen. Mittaukset palvelevat sekä perustutkimusta että käytännön sovelluksia. Näitä tehtäviä tukee observatorion kuuluminen Oulun yliopistoon valtakunnallisena erillislaitoksena. Sodankylän geofysiikan observatorio on Oulun yliopiston merkittävin toimija Lapissa.



Sodankylän geofysiikan observatorion, Lapin Ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen ja EISCAT-järjestön rakennuksia Tähtelän alueella. Etualalla EISCAT-antenni.

Geofysiikan observatorion rakennukset ovat taaimpana puiden siimeksessä. Kuva on otettu observatorion ionosondin antennimastosta. (Kuva: Timo Rantala)





# LITTEET

Jyrki Manninen, Tero Raita ja Pirkko Kaukonen

# Liite 1

## SODANKYLÄN GEOFYSIIKAN OBSERVATORION TOIMINTAAN MYÖNNETTY VUOTUINEN PERUSRAHOITUS 1913–2013<sup>42</sup>

Sodankylän observatorion toimintaa varten opetusministeriön kautta annettiin valtionapua vuosittain veikkausvoittovaroista observatoriotoimikunnan anomuksen perusteella. Avustusta myönnettiin vuoteen 1997 saakka, jolloin observatorio siirrettiin Oulun yliopiston rahoitettavaksi.

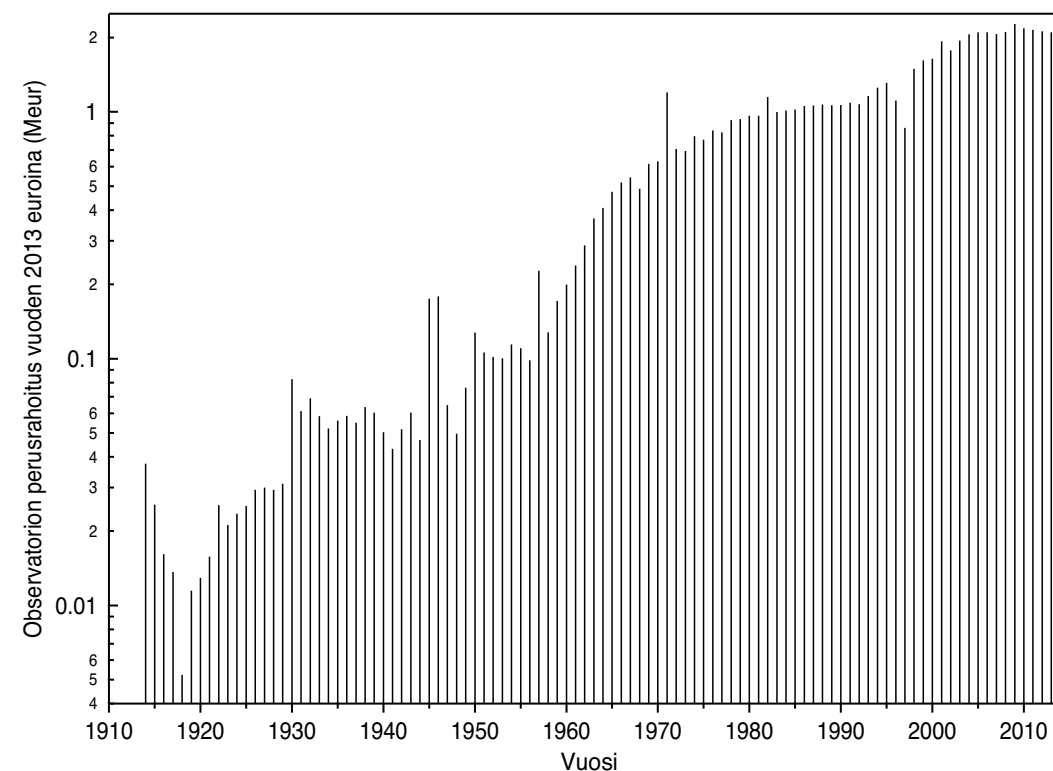
Kuvasta L1 nähdään valtionavun määrän vaihtelut, jotka heijastelevat lähinnä observatorion toimintojen ja henkilökunnan määrän kasvua. Observatorion rahoitus oli ensimmäisenä toimintavuotena 1914 riittävä, mutta ensimmäisen maailmansodan ja Suomen sisällissodan aiheuttamien talousvaikeuksien vuoksi valtionavun reaaliarvo romahti noin 90 % vuoteen 1918 mennessä. Taloustilanteen parantumisen myötä 1920-luvulla valtionavun määrä kasvoi tasaisesti, mutta vuoden 1914 rahoitustaso saavutettiin uudelleen vasta polaarivuoden 1932–1933 kynnyksellä. Valtionavun määrä kasvoi merkittävästi myös observatorion uudelleenrakentamiskaudella 1945–1950. Samoin geofysiikan vuosi 1957–1958 toi observatorion toimintaan lisää määrärahoja. Geofysiikan vuoden jälkeen observatorion havaintotoiminta ja henkilökunnan määrä kasvoi huomattavasti, mikä näkyy myös nopeasti kohoavana valtionapuna. Seuraavien 25 vuoden observatorion määrärahat kasvoivat reaaliarvoltaan 10-kertaisiksi.

Vuosittaisen valtionavun lisäksi observatorio sai erillismäärärahoja muun muassa ionosfääriaseman rakentamiseen vuonna 1957, observatorion uudisrakennuksiin 1960- ja 1970-luvuilla ja ensimmäisen tietokoneen (NORD 10) hankintaan vuonna 1982. EISCAT-järjestö

<sup>42</sup> Tiedot liitetaulukoihin 1–5 ovat koonneet Pirkko Kaukonen ja Tero Raita.

on maksanut observatoriolle korvausta laitteiston ylläpidosta vuodesta 1978 lähtien vuosittain 100 000–200 000 euroa.

Nykyisin Sodankylän observatorio saa vuosittain toimintamenoihin ulkopuolista rahoitusta noin 30 % perusrahoituksen määrästä.



Sodankylän geofysiikan observatoriolle myönnetty perusrahoitus 1913–2013 vuoden 2013 euroissa.



# Liite 2

## SODANKYLÄN GEOFYSIIKAN OBSERVATORION JOHTAJAT 1913–

Turun yliopistolla on ollut merkittävä rooli johtajien perusopintojen korkeakouluna. Johtajista Levanto, Hyyryläinen, Sucksdorff, Hilpelä ja Kataja suorittivat kandidaatin tutkintonsa Turun yliopistossa fysiikan, matematiikan ja tähtitieteen aloilla. Yliopiston fysiikan ja tähtitieteen professori Yrjö Väisälä (1891–1971) oli heidän opettajansa ja Väisälän vaikutuksesta aukeni heille ura Sodankylän observatoriossa. Yrjö Väisälän oppilas oli myös observatorion tähtitieteellisen yksikön hoitaja Johannes Kultima.

	Johtajakausi	Kesto vuosissa
Jaakko Keränen (1883–1979)	1.9.1913–1.6.1917	3.8
Heikki Lindfors (1894–1918)	1.6.1917–28.3.1918	0.8
Elias Levanto (1890–1970)	1.6.1918–1.8.1921	3.2
Heikki Hyyryläinen (–)	1.9.1921–14.8.1927	6.0
Eyvind Sucksdorff (1899–1955)	15.8.1927–31.5.1945	17.8
Maunu Seppänen (1901–1976)	1.6.1945–30.12.1947	2.6
Tauno Hilpelä (1920–1952)	31.12.1947–30.9.1950	2.8
Eero Kataja (1927–2014)	1.10.1950–1.5.1992	41.6
Tauno Turunen (1946–)	1.5.1992–31.12.1997	5.7
Jorma Kangas (1940–)	1.1.1998–31.12.2002	5.0
Tauno Turunen (1946–)	1.1.2003–31.5.2011	8.4
Thomas Ulich (1967–)	1.7.2011–31.12.2012	1.5
Esa Turunen (1956–)	1.1.2013–	3.6

# Liite 3

## SODANKYLÄN GEOFYSIIKAN OBSERVATORION JOHTO 1913–

Sodankylän observatorion ylin johto kuului 1913–1997 Suomalaisen Tiedeakatemian asettamalle observatoriotoimikunnalle.

Puheenjohtaja	Organisaatio	Toimikausi
Gustaf Melander (1861–1938)	Ilmatieteellinen keskuslaitos	1910–1938
Ilmari Bonsdorff (1879–1950)	Geodeettinen laitos	1938–1950
Jaakko Keränen (1883–1979)	Ilmatieteellinen keskuslaitos	1950–1963
Vilho Väisälä (1889–1969)	Helsingin yliopisto	1964–1968
Lauri Vuorela (1913–1999)	Helsingin yliopisto	1969
Heikki Simojoki (1906–1992)	Helsingin yliopisto	1970–1974
Lauri Vuorela	Ilmatieteen laitos	1974–1992
Risto Pellinen (1944–)	Ilmatieteen laitos	1992–1997

Observatoriotoimikunnan sihteerinä ovat toimineet Jaakko Keränen (1918–1945 ja 1955–1960), Eyvind Sucksdorff (1945–1955), Pentti Mattila (1961–1971), Bo Andergård (1971–1976) ja Heikki Nevanlinna (1976–1997).

Oulun yliopistoon liittämisen jälkeen Sodankylän observatoriota (1997) hallinnoi johtokunta. Sen puheenjohtajina ovat olleet Oulun yliopistosta Jorma Kangas 1997–1998, Sven-Erik Hjelt (1998–2004) ja Pertti Kaikkonen (2004–2010). Johtokunta korvautui vuonna 2010 ohjausryhmällä, jonka puheenjohtajana toimi Anita Aikio (2010–2013) Oulun yliopiston fysiikan laitokselta. Tämän jälkeen ei observatoriolla ole ollut Oulun yliopiston määrittelemää ja nimeämää johtoa, vaan johtamisen muodot on määritelty paikallisesti työjärjestyksellä.

# Liite 4

## SODANKYLÄN GEOFYSIIKAN OBSERVATORION HENKILÖKUNTA TÄHTELÄSSÄ 1913–

Ahonen, Adiel	vahtimestari	1913–1914
Alatalo, Urpo	riometriä hoitaja	1969–1971
Berg, Antti	vs. laboratorioins.	1981–1982
Enell, Carl-Fredrik	tutkija	2003–2013
Erikoski, Alli	laskuapulainen	1930–1932
Eskelinen, E.	laskuapulainen	1935–1939
Glader, Pekka	tutkimusteknikko	1994–1996
Grandin, Maxime	tohtorikoulutettava	2013–
Gummerus, Henrik	laskuapulainen	1915–1918
Gummerus, Sofia	laskuapulainen	1917–1918
Haajanen, Ritva	toimistoapulainen	1986–1990
Hagelin, Arvi	riometriä hoitaja	1967–1969
Hakosalo, Osmo	systemisuunnittelija	2000–2003
Hannula, Markku	teknikko	1984–1986
Hiitola, Pekka	tutkija	1995–1996
Hilpelä, Tauno	johtaja	1948–1950
Hilpelä, Raili	laskuapulainen	1948–1950
Hirvelä, Annikki	laskuapulainen	1947–1954

Huhta, Väinö	radiomekaanikko	1977–1995
Hurskainen, Riitta	atk-suunnittelija	1998–
Hämäläinen, Mirja	tutkimussihteeri	1957–2002
Hyyryläinen, Elli	assistentti	1920–1927
Hyyryläinen, Heikki	johtaja	1920–1927
Linatti, Toivo	asentaja EISCAT käyttöinsinööri	1984–2012
Jämsen, Teppo	tutkimusapulainen	2000–2010
Jääskeläinen, Terttu	tutkimusavustaja	1964–1990
Kallatsa, Tapio	laboratorioteknikko	1985–1987
Kalliokoski, Sirpa	toimistovirkailija	1992–1994
Kananen, Hannu	asemanhoitaja	1998–1999
Kangas, Jorma	johtaja	1998–2002
Kataja, Airi	laskuapulainen	1954–1956
	seismologi	1959–1991
Kataja, Eero	johtaja	1950–1992
Kataja, Hillka	laskuapulainen	1950–1957
Kaukonen, Pirkko	tutkimussihteeri	1981–
Kero, Antti	tutkijatohtori	2001–
Keränen, Jaakko	johtaja	1913–1917
Keränen, Saara	keittäjä	1913–1914
Keränen, Siiri	assistentti	1913–1917
Kieloaho, Anne	emäntä	2012–2013
Kivelä, Sirkka	osastosihteeri	1975–2011
Kivioja, Markku	asentaja	1995–1996
Kocharov, Leon	yliopistotutkija	2013–
Koivumaa, Seppo	ionosfääriaseman hoitaja	1966–1971
Korkalo, Jari	teknikko	1984–1985
Korpela, Marketta	tutkimusapulainen	1990–1995
Kosola, Tenho	vahtimestari	1948–1963
Kosola, Hilma	vahtimestarin apulainen	1957–1957
Kozlovskaya, Elena	seismologi (prof.)	2003–
Kozlovsky, Alexander	geofysikko	1999–
Kuivalainen, Irja	apulainen	1944–1947
Kultima, Maija-Liisa	osastosihteeri	1975–2006
Kultima, Johannes	geofysikko ja tähtitieteellisen aseman hoitaja	1973–2009
Kurkela, Helvi	siivooja	1989–2014

Kurtti, Elli	assistentti	1932–1935
Laakso, Tarmo	yliteknikko	1977–2010
Lakkala, Pasi	erikoislaboratoriomestari	2008–
Lasanen, Sari	tutkijatohtori	2006–
Lehtinen, Markku	tutkija EISCAT	1978–1984
	geofyysikko	1991–2007
	tutkimusprofessori	2007–
Lehtola Tuomo	vahtimestari	1993–1995
Leino, Mauno	vahtimestari	1964–1993
Leino, Enna	siivooja	1964–1988
Lempinen, Valter	vahtimestari	1963–1964
Lempinen, Eila	vahtimestarin apulainen	1963–1964
Levanto, Elias	johtaja	1917–1920
Levanto, Hanna	assistentti	1917–1920
Lindfors, Heikki	johtaja	1917–1918
Lokka, Ulla	toimistoapulainen	1984–1985
Lähti, Helvi	assistentti	1932–1935
Macotela, Liliana	tohtorikoulutettava	2016–
Majava, Markku	tp. teknikko	1982–1984
Mannermaa, Raimo	erikoislaboratoriomestari	1965–2008
Manninen, Jyrki	geofyysikko	1995–
Manninen, Teija	taloussihteeri	1990–
Markkanen, Jussi	EISCAT-aseman johtaja	1985–
Markkanen, Markku	tutkija	1993–2000
Matero, Alli	assistentti	1956–1960
McKay-Bukowski, Derek	tohtorikoulutettava	2012–2015
Melamies, Auno	assistentti	1917–1918
Mikkola, Pertti	tutkimusapulainen	1993–1995
Moberg, Otto	vahtimestari	1914–1918
Mustonen, Liisa	siivooja, työpaikkaruokalan hoitaja	1960–1994
Mustonen, Tarmo	teknikko	1958–1976
	teknikko EISCAT	1977–1996
Mäkihalvari, Tarja	tutkimussihteeri	1982–2011
Mäntylä, Henna-Leena	toimistos sihteeri	1998–2001
Määttä, Esko	asentaja	1990–1993
Mökkönen, Marita	taloussihteeri	1999–
Narkilahti, Janne	projektitutkija	2012–

Nevalainen, Jouni	projektitutkija	2012–
Nikiforou, Andreas	laboratoriomestari	2015–
Oksman, Juhani	ionosfääriaseman hoitaja	1958–1966
Oksman, Tellervo	apulainen	1964–1966
Orispää, Mikko	tutkijatohtori	2004–
Peltonen, Leila	tutkimusapulainen	1993–1995
Peltoniemi, Juha	projektipäällikkö	1999–2001
Penttinen, Raili	laskuapulainen	1939–1942
Piippo, Anna-Liisa	apulainen	1971–1976
	EISCAT:in ohjelmoija	1977–2004
	systemisuunnittelija	2004–2011
Pirttilä, Juha	tutkija	1990–1997
Poikela, Eira	tutkimusapulainen	1984–1992
Postila, Markku	laboratoriopäällikkö EISCAT	1983–2008
	laboratorioinsinööri	2008–2016
Raita, Tero	geofyysikko	2002–
Rajaniemi, Ilkka	suunnittelija	1996–1998
Ranta, Aarne	laboratorioinsinööri	1971–2008
Ranta, Hilikka	tutkija	1971–1996
Rantala, Timo	käyttöinsinööri	1986–
Rekola, Arja	tp. tutkimusapulainen	1981–1983
Riipi, Nina	tutkimussihteeri	1997–2007
Roininen, Lassi	tutkijatohtori	2003–
Ruumensaari, Kullervo	radiomekaanikko	1963–1975
Ruumensaari, Kerttu	tutkimusapulainen	1965–1975
Sandman, Regina	apulainen	1957–1962
		1968–1970
Sarkkamaa, S.	laskuapulainen	1935–1936
Seppänen, Maunu	johtaja	1944–1947
Seppänen, Elsa	apulainen	1946–1947
Silén, Johan	tutkija EISCAT	1978–1986
Silvennoinen, Hanna	tutkijatohtori	2006–
Simula, Teija	kirjastoapulainen	1996–1998
Sipari, Soili	tp. toimistos sihteeri	1982–1984
Sucksdorff, Annikki	assistentti	1927–1945
Sucksdorff, Eyvind	johtaja	1927–1945
Teppo, Tomi	projektitutkija	2012–



Trottier, Philippe	laboratorioteknikko	2002–2005
Turunen, Tauno	ionosfääriaseman hoitaja johtaja	1971–1991 1992–2011
Turunen, Esa	ionosfääriaseman hoitaja johtaja	1984–2011 2011–
Turunen, Timo	tutkija	1987–1992
Törmänen, Paavo	tekniikko yliteknikko	1983–1994 1999–
Ulich, Thomas	havaintopäällikkö	1995–
Usoskin, Ilya	asemanhoitaja (prof.)	2000–
Uutela, Olli	radiomekaanikko	1975–1979
Vaarala, Kari	projekti-insinööri	2000–2004
Vallinkoski, Matti	projektipäällikkö	1999–2001
Vilkki, Pekka	yliteknikko	1979–2006
Vilppola, Anna-Liisa	tutkimusapulainen	1960–1985
Virranniemi, Maire	emäntä	1989–2013
Venäläinen Tapio	tutkimusteknikko	1992–1994
Vierinen Juha-Pekka	tutkijatohtori	2006–
Vilkki, Margaretha	tp. tutkimusapulainen	1979–1981
Välitalo, Sirkku	tekniikko tutkimussihiteeri	1993–1996 2006–
Väänänen, Antero	erikoistutkija	1998–2005
Yliniemi, Jukka	seismologi	1998–2004
Ylitalo, Pertti	laboratoriomestari	1980–2015
Yli-Suvanto, Jaana	sovellussuunnittelija	2012–
Äijänen, Tapani	laboratorioinsinööri EISCAT	1977–1983

Lisäksi observatoriossa on työskennellyt useita kymmeniä henkilöitä lyhytaikaisessa työsuhteessa kesäharjoittelijana yms. tilapäistehtävissä.

## Liite 5

# SODANKYLÄN GEOFYSIIKAN OBSERVATORION TUTKIJOIDEN KANSAINVÄLISTEN JULKAISUJEN LUKUMÄÄRÄ

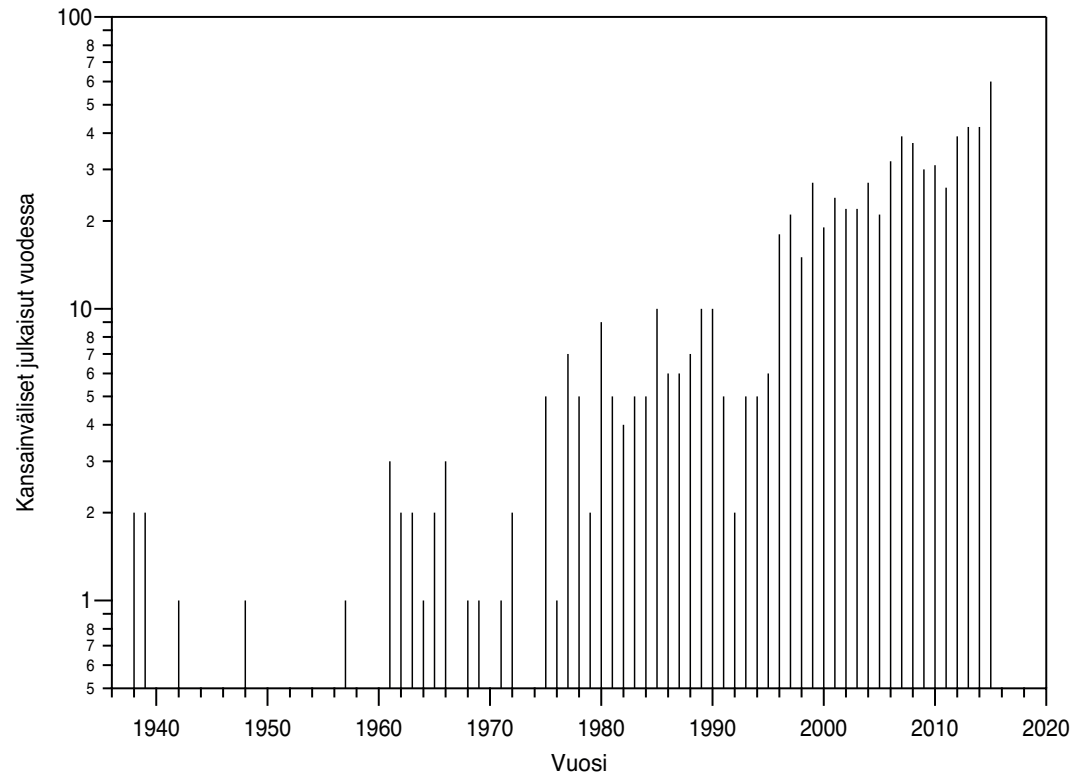
Ensimmäiset tieteelliset artikkelit alan kansainvälisissä julkaisusarjoissa laati observatorion johtaja Eyvind Sucksdorff 1930- ja 1940-luvuilla. Julkaisujen määrä kasvoi geofysiikan vuoden 1957–1958 seurauksena, kun observatorion toiminta laajeni ionosfäärimittauksiin ja -tutkimuksiin. Seuraava julkaisuaktiiviteetti nousukausi alkoi EISCAT-toiminnan käynnistyttyä 1970-luvun lopulla.

Yliopistollisia väitöskirjoja, joissa on merkittävästi käytetty observatorion tuottamia aineistoja on kaikkiaan 11. Niistä ensimmäinen on vuodelta 1942 ja tuorein vuodelta 2015.

Tieteellisten artikkelien lisäksi henkilökunta on toimittanut ja julkaissut vuosittain observatorion ylläpitämistä geomagneettisista havainnoista ja rekisteröinneistä koostetun vuosikirjan taulukkoineen ja oheistietoineen. Ensimmäinen magneettinen vuosikirja ilmestyi vuonna 1921 (Keränen, 1921b). Siihen oli koottu vuoden 1914 geomagneettiset havainnot. Myöhempiä vuosikirjoja on ilmestynyt yli 100 nidettä.

Täydellinen luettelo julkaisuista on saatavilla Sodankylän observatorion verkkosivuilta: <http://www.sgo.fi/Publications/SGO.php>.

Kansainvälisten artikkelien lisäksi observatorion tutkijat ovat julkaisseet suuren määrän kokousraportteja, tieteellisiä ja yleistajuisia kirjoituksia kotimaisilla julkaisufoorumeilla.



Sodankylän observatorion tutkijoiden tieteellisten julkaisujen vuotuinen määrä kansainvälisissä sarjoissa 1936–2015. Kaikkiaan julkaisuartikkeleita on kertynyt 739. Niistä noin puolet on laadittu viimeisen 10 vuoden aikana.

## Liite 6

### TIETOJA KIRJOITTAJISTA

#### Jorma Kangas

Syntynyt 17.4.1940 Ilmajoella. Yo 1959, Ilmajoen yhteiskoulu. FK 1964, Oulun yliopisto. Väitellyt 1970, Oulun yliopisto. Joliot-Curie -stipendiaatti Ranskassa 1966–1967. Suomen Akatemian nuorempi tutkija 1971–1973. Fysiikan apulaisprofessori 1974–1998, Oulun yliopisto. Fysiikan professori 1998–2003, eläkkeelle 2003. Oulun yliopiston vararehtori 1986–1993. Sodankylän geofysiikan observatorion johtaja 1998–2002. Tieteen keskustoimikunnan avaruusjaoston jäsen 1970–1973. Suomalaisen EISCAT-tutkimuksen koordinaattori 1984–1998. EISCAT Council, Suomen edustaja 1989–1998. Sodankylän geofysiikan observatorion observatorio-toimikunnan jäsen 1989–1997. Suomen Akatemian luonnontieteen ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan jäsen 2001–2003. Tähtitieteen ja avaruusfysiikan valtakunnallisen tutkijakoulun johtaja 1995–2000. EU:n rahoittaman Marie Curie Training Site -tutkijakoulun johtaja 2000–2003. Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 1979–. Oulun yliopiston ylioppilaskunnan inspehtori 1993–1995. Noin 140 vertais-arvioitua julkaisua ja noin 100 muuta julkaisua.

#### Eero Kataja

Syntynyt 22.4.1927 Parkanossa, † 8.11.2014 Por-

voossa. Yo 1945, FK 1950 (Turun yliopisto), FL 1972 (Helsingin yliopisto), FT (h.c.) 1985 (Helsingin yliopisto). Suomalaisen Tiedeakatemian Sodankylän magneettisen observatorion johtaja 1950, eläkkeelle 1992. Toimittanut Sodankylän observatorion magneettisten havaintojen vuosikirjat 1946–1991. Kirjoittanut useita tieteellisiä artikkeleita lähinnä avaruussään (magneettiset aktiivisuusindeksit) ja Sodankylän geofysiikan observatorion historiasta. Osallistunut lukuisiin geofysiikan ja geomagnetismin alan kansainvälisiin kokouksiin IUGG:n ja IAGA:n puitteissa ja pohjoismaisiin magneetikkokokouksiin. Geomagnetismin luentoja Oulun yliopistossa 1960-luvulta lähtien, Lapin tutkimusseuran kunniajäsen 2011, Sodankylän kunnanvaltuutettu (Kansallinen kokoomus), Sodankylän Lions-klubin perustajajäsen 1960.

#### Elena Kozlovskaya

Syntynyt 17.4.1958 Tartto, Viro. Yo. 1970 Mogilevin matemaattinen lukio nro 1, Valko-Venäjä. DI-tutkinto 1975, Minskin radioteknillinen instituutti, Valko-Venäjä. ATK-suunnittelija, geofysiikan observatorio Pleschenizy, Valko-Venäjä 1982–1989. Jatko-opiskelija, Kiinteän maan geofysiikan laboratorio, Valko-Venäjän Tiedeakatemian geofysiikan ja geoke-

mian tutkimuslaitos 1989–1996. Oulun yliopiston vieraileva tutkija 1996–1997. Oulun yliopiston tutkija erillisessä tutkimusprojektissa 1998–2004. Väitellyt vuonna 2001, Oulun yliopisto. Oulun yliopiston geofysiikan dosentti 2004. Sodankylän geofysiikan observatorion seismologi 2004–2015. Kaivannaisalan tiedekunta, sovelletun geofysiikan professori 2016–. Suomen geodeettis-geofysikaalisen kansalliskomitean sihteeri 2009–2015. Suomen kansallisen litosfäärikomitean jäsen 2015–.

### Johannes Kultima

Syntynyt 23.10.1944 evakossa Ruotsissa Arvidjaurissa, † 29.10.2014 Rovaniemellä. FK 1972, Turun yliopisto. Turun yliopiston tähtitieteen laitoksen assistentti 1968–1973. Sodankylän geofysiikan observatorion tähtitieteellisen aseman hoitaja 1973–1984. Observatorion geofysikko ja magneettisen aseman hoitaja 1984–2009.

### Esko Kyrö

Syntynyt 14.12.1948 Inarissa. Yo-tutkinto Rovaniemen yhteislyseosta 1969. Opiskeli Oulun yliopistossa fysiikka pääaineena, FT Oulun yliopisto 1981. 1972–1984 assistentin virka Oulun yliopiston fysiikan laitoksella, josta virkavapauksia laboratorio-insinöörin ja apulaisprofessorin sijaisuuksien hoitamiseksi. 1981–1982 postdoc-opintoja Texas A&M -yliopistolla Welch-stipendiaattina. 1984–1985 VTT:n vanhempi tutkija. Ilmatieteen laitoksella meteorologin (1986–1990), vanhemman meteorologin (1991–1994), tutkimuspäällikön (1995–2000) ja tutkimusprofessorin (2001–2012) viroissa. Toiminut Lapin ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen päällikkönä 20 vuoden ajan 1996–2006. Eläkkeelle vuonna 2013. Toiminut kansainvälisenä koordinaattorina useissa EU-projekteissa sekä projektipäällikkönä SA-, TEKES-, ESA-projekteissa. Julkaisutoiminta käsittää yli 100 vertaisarvioitua artikkelia.

### Lauri Lajunen

Syntynyt Kajaanissa 2.3.1950. Yo. Launeen yhteislyseo (Lahti) 1969, Fil. kand. (Helsingin yliopisto) 1974, fil. lis. 1975 ja fil.tri. 1976 (kemian). Tutkimusapulainen Helsingin yliopiston kemian laitoksella 1974, assistentti 1974–1976, kemian dosentti 1977–. Oulun yliopiston kemian apulaisprofessori

1976–1979, epäorgaanisen kemian professori 1979–2014. Oulun yliopiston dekaani 1987–1993 ja rehtori 1993–2014. Lauri Lajunen on tehnyt useita opintomatkoja Eurooppaan ja Yhdysvaltoihin, hän oli muun muassa USA:ssa valtionyliopiston vieraileva professori vuonna 1985. Biocenter Oulun neuvottelukunnan puheenjohtajuus. Lajunen toimi lisäksi pitkään Technopolis Oyj:n hallituksessa. Hänellä on ollut monia eri luottamustehtäviä, kuten kotimaisten ja kansainvälisten kemistien seurojen hallitusten jäsenyyksiä, korkeakouluneuvoston ja Suomen korkeakoulujen rehtoreiden neuvoston jäsenyys ja Oulun yliopistoseuran johtokunnan jäsenyys. Lajusella on noin 300 tieteellistä julkaisua kemian alalta ja lisäksi noin 200 kokoomajulkaisua ja yleistajuista artikkelia.

### Jyrki Manninen

Syntynyt 22.02.1966 Rovaniemen mlk. Yo 1985 Pie-laveden lukio. FK 1991, Oulun yliopisto. FL 1995, Oulun yliopisto, väitellyt 2005, Oulun yliopisto. Avaruusfysiikan dosentti 2011, Oulun yliopisto. Fysiikan assistentti 1990–1992, Oulun yliopisto. Suomen Akatemian tutkija 1992–1995. Tutkijakoulutettava 1995–1997, Oulun yliopisto. Tutkija 1997, Suomalainen Tiedeakatemia/SGO. Geofysikko 1997–2007, Oulun yliopisto/SGO. Elinkeinojohtaja 2008–2010, Sodankylän kunta. Geofysikko 2011–, Oulun yliopisto/SGO. Johtajan varamies 2011–2012, Oulun yliopisto/SGO. Havaintopäällikkö 2012, Oulun yliopisto/SGO. Kehittämisvastaava 2013–, Oulun yliopisto/SGO. Vt. laboratoriopäällikkö 2016, Oulun yliopisto/SGO. EU:n LAPBIAT-hankkeen projektipäällikkö 2001–2004 ja 2006–2011. Toimitusjohtaja 2009–2011, Tähtikunta Oy. URSI:n ja IAGA:n VERSIM (VLF/ELF Remote Sensing of Ionospheres and Magnetospheres) -työryhmän jäsen 1993–. VERSIM-workshopin ideoija ja aloittaja 2004 (7. Workshop 2016 Hermanuksessa, Etelä-Afrikassa). Kunnallisia luottamustehtäviä 1997–. Kunnanvaltuuston ja -hallituksen jäsen 2013–2017. Kansainvälisiä referoituja artikkeleita 61 kpl. Tekstiosuuksia kirjoissa 6 kpl. Esitelmiä ja poste-reita kansainvälisissä kokouksissa yli 400 kpl. Radio- ja TV-haastatteluja useita kymmeniä (Suomi, Ruotsi, Puola, Ranska, Iso-Britannia).

### Heikki Nevanlinna

Syntynyt Helsingissä 27.11.1947. Yo 1967 Mannerheimintien yhteiskoulu (Helsinki), FK 1973, FL 1976 ja FT 1981 (geofysiikka), Helsingin yliopisto. Geofysiikan dosentti Helsingin yliopistossa 1982–. Apulaistutkijan sijaisuuksia Ilmatieteen laitoksessa 1969–1973. Geofysiikan laitoksen assistentti 1974–1987. Tutkimuspäällikkö Ilmatieteen laitoksessa 1987–2012, viestintäyksikön tiedetoimittaja 2003–2012. Toiminut Tiedekeskus Heurekan ja Helsingin yliopistomuseon näyttelyiden tieteellisenä avustajana 1995–2010. Suomalaisen Tiedeakatemian observatoriotoimikunnan sihteeri 1976–1997, Sodankylän geofysiikan observatorion johtokunnan jäsen 1997–2000, Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 1986–. Geofysiikan seurassa eri tehtävissä, pj. 2000–2001. Organisoanut Viron alueen yleisen geomagneettisen kartoituksen 1998–2002 Viron karttakeskuksen kanssa. Osallistunut IAGA:n (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) työryhmiin INTERMAGNET, MagNetE, ja Geomagnetic Observatories and Models. Tutkimusvierailuja USA:ssa ja useissa Euroopan maissa geomagnetismin alalla. Kirjoittanut 270 tieteellistä artikkelia ja populaarikirjoituksia geomagnetismin, revontulitutkimuksen, avaruussään, ilmastonmuutoksen ja geofysiikan historian aloilta. Kirjoittanut ja toimitannut yhteensä seitsemän kirjaa geofysiikan eri aloilta. Suomen tiedetoimittajien liitto ry:n jäsen 2003–. Tiedonjulkistamisen valtionpalkinto 2009.

### Juhani Oksman

Syntynyt Kuusankoskella 9.7.1931. Yo 1951 Rovaniemen yhteislyseosta. DI 1958, TkL 1961 ja TkT 1963 Helsingin TKK:sta. Opintomatkat Saksan Liittotasavaltaan 1956–1957 ja USA:aan 1959–1960. Tutkimustyötä Saksan Liittotasavallassa 1970– ja 1980-luvuilla, USA:ssa 1983–1984 ja Hollannissa 1984. Sodankylän geofysiikan observatorion geofysikko 1957–1966. Oulun yliopiston fysiikan va. apulaisprofessori 1962 ja 1966, geofysiikan dosentti Oulun yliopistossa 1964–1966 ja Helsingin yliopistossa 1972–1978, Oulun yliopiston sähkötekniikan professori 1966–1993, sähkötekniikan osaston johtaja 1960-luvulta 1980-luvulle, 1. vararehtori 1988–1990, Oulun yliopiston rehtori 1990–1993 Teknillisen tiedekunnan varadekaani 1968–1970 ja

1972, dekaani 1974 ja promoottori 1983 ja 1989. Suomen korkeakoulujen rehtorien neuvoston pj. 1992–1993. Suomen Akatemian tutkijaprofessori 1978–1983. Marylandin yliopiston (USA) tutkimusprofessori 1983–1984. Euroopan avaruusjärjestön (ESA) tutkija 1984.

Jäsenyyksiä: Avaruustutkimuskomitea 1969, Suomalaisen Tiedeakatemian observatoriotoimikunta 1974–1988, Valtion teknistieteellinen toimikunta 1974–1976, Suomen Akatemian elektroniikkajaosto 1973–1974, avaruustutkimusjaosto 1975–1976 ja 1986–1988, EISCAT-jaosto 1976–1979. EISCAT:in johtoryhmän jäsen 1973–1975 sekä Science Advisory Committeeen jäsen 1975–1982 ja varapj. 1976–1981. Suomen ja Neuvostoliiton teknis-tieteellisen komitean geofysiikan työryhmän jäsen 1976–1983, avaruustutkimustyöryhmän pj. 1986–1987 ja asiantuntijajäsen 1988–1989. Suomen edustaja ESA:n Science Advisory Committeeessa 1987–1989 ja Euroopan tiedeneuvoston avaruustutkimuskomiteassa 1987–1990. Opetusministeriön avaruuskoulutustyöryhmän pj. 1985–1986, avaruusasiain neuvottelukunnan tutkimus- ja koulutusjaoston asiantuntijajäsen 1985–1989. Geofysiikan seuran pj. 1981. Suomen Alexander von Humboldt -klubin pj. 1983–1993, Suomen Saksan-instituutin valtuuskunnan jäsen 1993–1996 ja pj. 1998–2000 sekä hallituksen jäsen 1993–2000 ja pj. 1995–1998. Teknillisten tieteiden akatemian jäsen 1969– ja Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 1976–. Yli 100 julkaisua lähiavaruuden ja tietoliikennetekniikan tutkimuksen alalta, Suomen Kulttuurirahaston palkinto, Oulu-mitali, Oulun yliopiston hopeinen plaketti, Geofysiikan seuran Palmén-mitali, Oulun yliopiston kunniatohtori 2002.

### Risto Pellinen

Syntynyt 21.1.1944, Helsinki. Yo v. 1962, Alppilan yhteislyseo. FK 1966, Helsingin yliopisto. Väitellyt 1979, Helsingin yliopisto. Matemaattisten aineiden opettaja Alppilan yhteislyseossa 1965–1968. Teoreettisen fysiikan assistentti ja kurssiluennoitsija Helsingin yliopistossa 1968–1973. Ilmatieteen laitoksen ylimeteorologi, 1972–1985, toimistopäällikkö 1985–1989, tutkimusprofessori 1989–1991, geofysiikan osaston päällikkö, professori 1991–2003, avaruustutkimuksen tiedejohdaja, professori 2003–



2007. Eläkkeelle 2008. Suomen Akatemian varttunut tieteenharjoittaja 1986–1988 ja luonnontieteen ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan jäsen vuosina 1998–2000. Suomen Akatemian EISCAT-työryhmän puheenjohtaja 1984–1987. Sodankylän geofysiikan observatorion observatoriotoimikunnan puheenjohtaja 1992–1997 ja johtokunnan jäsen 1997–2005. Avaruusasian neuvottelukunnan varapuheenjohtaja 1995–2004. Ruotsin valtion avaruustutkimuskomitean jäsen 1982–1997. Suomen ja Neuvostoliiton/Venäjän geofysiikan ja avaruustutkimuksen eri komiteoiden jäsen, sihteeri tai puheenjohtaja vuosina 1977–1996. Euroopan avaruusjärjestön (ESA) johtajien neuvonantaja tiede-, avaruusasema- ja miehitettyjen avaruusalentojen asioissa 1994–2006. ESA:n kahden ohjelmakomitean ja kolmen laitevalintakomitean puheenjohtaja 1994–1998 sekä historiakomitean jäsen 1999–2005. ESA:n aurinkokunnan tutkimuksen työryhmän jäsen 1988–1991 ja puheenjohtaja 1996–1999. ESA:n tiedeohjelmanevoston puheenjohtaja 2002–2005. Kansainvälisen Mars-tutkimuksen komitean (IMEWG) jäsen 1993–1999 ja puheenjohtaja 2002–2002. Kansainvälisen avaruustutkimusinstituutin (ISSI) tiedenevoston jäsen 2000–2001 ja puheenjohtaja 2001–2005 sekä johtokunnan jäsen 2006–2013. Suomalaisen tiedeakatemian jäsen 1990–, Kansainvälisen astronautiikka-akatemian jäsen 1994–. Royal Astronomical Societyn 1997–, ja European Geophysical Unionin 2006– kunniajäsen. Juri Gagarin -mitali 2005, Jean Dominique Cassini -mitali 2006, G. N. Babakin -mitali 2007 ja Erik Palmén -mitali 2013. Kirjoittajana yli 140 avaruusasieheissä tieteellisessä julkaisussa, yli 30 yleisölle suunnatussa artikkelissa, viidessä avaruusasieheissä TV-dokumentissa ja toimittajana kolmessa kansainvälisessä Mars-aiheisessa kirjassa. Kirjoittanut yhdessä Ilkka Seppisen kanssa kirjan *The History of Finnish Space Activities* (2009).

### Tero Raita

Syntynyt 30.7.1975 Rovaniemellä. Yo 1994 Korkalovaaran lukio (Rovaniemi). FM (geofysiikka) 2001 Oulun yliopisto. Tutkimusapulainen 1998–2001, Oulun yliopisto ja Helsingin yliopisto (SVEKALAPKO-projekti). Tutkija 2002–2009 Oulun yliopisto/SGO. Geofysikko 2010– (geomagnetismin havain-

totoiminta), Oulun yliopisto/SGO. Henkilökunnan edustaja SGO:n johtokunnassa 2006–2009. IMAGE-ohjausryhmän jäsen. INTERMAGNET definitive data -työryhmän jäsen 2013–. 56 kansainvälistä referoitua artikkelia.

### Aarne Ranta

Syntynyt 4.5.1943 Tampereella. Yo 1963 Tampereen klassillisesta lyseosta. DI-tutkinto 1970 Oulun yliopistosta. Tutkimusinsinööri ja assistentti Helsingin teknillisessä korkeakoulussa 1970. Laboratoriainsinööri Sodankylän geofysiikan observatoriossa 1971–1999 ja 2001–2008. Tutkija Marylandin yliopistossa USA:ssa 1981–1982. Tutkimusasiames Sodankylän kunnassa 1999–2001 ja projektipäällikkö 2001–2002. 44 julkaisua referoiduissa aikakauslehdissä.

### Pekka Tanskanen

Syntynyt Helsingissä 21.5.1936. Yo Åggelby Svenska samskola 1954. FK ja FM 1960, Helsingin yliopisto (HY), FL 1965 ja FT 1966, Oulun yliopisto (OY). Fysiikan assistentti 1961–1962. Atomienergieneuvottelukunnan tutkimusassistentti 1963–1965. Fysiikan vt. apul.prof. (OY) 1967–1970, apul.prof. ja vt. prof. 1970–1972, prof. 1972–1999. Fysiikan laitoksen esimies 1973–1984, luonnontieteellisen tiedekunnan varadekaani 1980–1984, OY:n avaruusinstituutin pj. 1989–. Opinto- ja tutkimusmatkoja USA: Princetonin yliopiston stipendiaatti 1957–1958, Air Force Geophysical Laboratory 1978–1980 tutkimustyö, Länsi-Saksa: Max-Planck-Institut für Aeronomie 1971–1972, 1984–1985, Japani Tokio, 1983. Tutkimusvierailuja: Kiina, Australia, Uusi Seelanti. Scientific Ballooning and Radiations Monitoring Organization (SBARMO) -neuvottelukunnan jäsen 1965, varapuheenjohtaja 1976–1977. Maanpuolustuksen tieteellisen neuvottelukunnan jäsen 1968–1999, varapuheenjohtaja 1988, Oulun osaston pj. 1978–1998. HY:n teoreettisen fysiikan tutkimuslaitoksen neuvottelukunnan jäsen 1969–1973. Oulun Fyysikkokerhon pj. 1970–1971, European Physics Societyn (EPS) neuvottelukunnan jäsen 1971–1975. Suomen Fyysikkoseuran varapuheenjohtaja 1972–1973, pj. 1974. Suomen Akatemian luonnontieteellisen toimikunnan jäsen 1989–1992, pj. 1992–1994. Suomen Akatemian tieteen kes-

kustoimikunnan jäsen 1992–1994. Avaruusasian neuvottelukunnan jäsen 1992. Pohjoismaisen avaruustutkimusyhdistyksen pj. 1992–1994. Euroopan avaruusjärjestön (ESA) tiedeohjelmakomitean Suomen valtuutettu 1993–1995, ja ESA:n Long-term Space Policy Committeeen Suomen valtuutettu 1996–1998. Suomen Tiedeseuran jäsen 1989–.

### Esa Turunen

Syntynyt 1956. FK 1986 ja FT 1993 Oulun yliopisto. Tutkimusassistentti Oulun yliopiston teoreettisen fysiikan laitoksessa 1977–1988. Tutkija Sodankylän geofysiikan observatoriossa 1985–1988. Tutkimusassistentti Suomen Akatemiassa 1989. Sodankylän geofysiikan observatorio: ionosfääriaseaman vt. hoitaja 1990–1992 ja aeronomian yksikön päällikkö 1993–2008. Aeronomian dosentti Oulun yliopistossa 2009. EISCAT-järjestön johtaja 2009–2013. Sodankylän geofysiikan observatorion johtaja 2013–. Toiminut vierailevana professorina mm. Japanissa. Julkaisut yli 100 vertaisarvioitua tieteellistä julkaisua ionosfäärifysiikan ja revontulitutkimuksen aloilta. Julkaisutoimintaan kuuluu lukuisia tieteellisiä ja yleistajuisia kirjoituksia ja esitelmää avaruussästä, revontulista sekä ionosfääriin tutkaimittauksista.

### Tauno Turunen

Syntynyt 28.5.1946 Ylivieska. Yo. Kemin lyseo 1965. FK 1970, FL 1976 ja FT 1977 Oulun yliopistosta. Fysiikan dosentti, Oulun yliopisto 1980. Sodankylän geofysiikan observatorion ionosfääriaseman hoitaja 1971–1984. Kansainvälisen radiotieteen unionin URSI:n INAG-ryhmän (Ionospheric Network Advisory Group) jäsen ja kv. ionosfäärikuutaustulkinnan manuaalin kirjoittaja. EISCAT Working Groupin Suomen edustaja 1974–1975. EISCAT Scientific Associationin apulaisjohtaja 1984–1987, johtaja 1998–2002. EISCAT Scientific Advisory Committeeen puheenjohtaja 1989–1991. EISCAT:in Huippuvuoritutkan suunnitteluryhmän Suomen edustaja 1990. Sodankylän geofysiikan observatorion johtaja 1992–1997 ja 2003–2011. Professorin arvo, Oulun yliopisto 2003. Suomen Akatemian varttuneen tutkijan apuraha ja vanhempi tutkija 1987–1992. Suomen Akatemian EISCAT-työryhmän puheenjohtaja, TT-geofysiikan työryhmän jäsen. Sodankylän tieto-

tekniikka- ja avaruusprojektin puheenjohtaja 1991. Ohjannut lukuisia FK-, FL- ja FT-tutkintoja Oulun yliopistossa. Toiminut vastaväittäjänä Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Turusen tutkamenetelmillä saavutettiin 1970- ja 1980-luvuilla sirontatutkimuksissa ennennäkemätön paikka- ja aikaerotuskyky. Myös nykyisin käytettyjen mittausohjelmien suunnittelussa Turusella on merkittävä osuus. EISCAT-järjestön kansainvälinen Beynon-mitali 2003. Julkaisut yli 100 vertaisarvioitua tieteellistä julkaisua mm. EISCAT-tutkajärjestelmästä, ionosfääri- ja magnetosfäärifysiikasta ja VLF-mittauksista.

### Ilya Usoskin

Syntynyt Leningradissa 17.1.1965. Fil. maist. avaruusfysiikan alalta, Leningradin polytekninen instituutti 1988. Fil. tri. (astrofysiikka), A.F. Ioffe -instituutti, Pietari 1995. Tutkija A. F. Ioffe -instituutissa 1988–1997. Postdoc-tutkija Italian kansallisessa ydintutkimuslaitoksessa, Milano 1997–1999. Oulun yliopiston kosmisen säteilyn havaintoaseman johtaja 2000–. Oulun yliopiston avaruusfysiikan professori 2012–. Suomen Akatemian ReSolVE-huippuyksikön (Centre of Excellence in Research on Solar Long-term Variability and Effects) varajohtaja 2014–2019. Ohjannut yli 10 tohtorinväitöstyötä ja muuta opinnäytettä. Julkaisut noin 170 vertaisarvioitua tieteellistä artikkelia. Useiden kansainvälisten tieteellisten julkaisusarjojen toimituskunnan jäsen ja vieraileva toimitaja.

## LÄHDEVITTEET

- BABEL** Working Group, 1991. Recording marine airgun shots at offsets between 300 and 700 km. *Geophys. Res. Letters*, 18, 645–648.
- Bertaux** J.L., Pellinen, R., Chassefiere, E., Dimarellis, E., Goutail, F., Holzer, T. E., Kelhä, V., Korpela, S., Kyrölä, E., Lallement, R., Leppälä, K., Leppelmeier, G., Liede, I., Rautonen, K. and Torsti, J., 1989. "SWAN"- A study of solar wind anisotropies, in The Soho mission, scientific and technical aspects of the instruments. *ESA SP-1104*, p. 63.
- Breit**, G. and Tuve, M.A., 1926. A Test of the Existence of the Conducting Layer. *Phys. Review*, 28, 554–575.
- Bösinger**, T., Haldoupis, C., Belyaev, P. P., Yakunin, M. N., Semenova, N. N., Demekhov, A. G. and Angelopoulos, V., 2002. Spectral properties of the ionospheric Alfvén resonator observed at a low latitude station ( $L = 1.3$ ), *J. Geophys. Res.*, 107(A10), 1281, doi:10.1029/2001JA005076.
- Chapman**, S. and Bartels, J., 1940. *Geomagnetism Vol. I and II*. Oxford, Clarendon Press.
- Daly**, P.W. and Whalen, B.A., 1978. Rocket-Borne Measurements of Particles and Ion Convection in Dayside Aurora. *J. Geophys. Res.*, 83(A5), pp. 2195–2200.
- Dieminger**, W., 1973. 20 years of cooperation in ionospheric research with Finland *Veröffentlichungen des geophysikalischen Observatoriums der Finnischen Akademie der Wissenschaften*, 56, 59–72.
- Elfving**, F., 1938. Finska Vetenskaps societeten historia 1838–1938 *Societas Scientarium Fennica - Commentationes Humanarum Litterarum*, 10, 312 s.
- Elfving**, G., 1981. The history of mathematics in Finland 1828–1918. The History of Learning and Science in Finland 1828–1918. *Societas Scientarium Fennica*, 195 s.
- ESA**, 2000. Cluster (Four Spacecraft Constellation in Concert with SOHO), <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cluster>.
- Farman**, J.C., Gardiner, B.G. and Shanklin, J.D., 1985. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal  $\text{ClO}_x/\text{NO}_x$  interaction. *Nature*, 315, 207–210.
- Fredga**, K., 1983. The Viking Satellite: *In High-Latitude Space Plasma Physics*, Eds. B. Hultqvist and T. Hagfors, Nobel Foundation Symposia, Published by Plenum, 54, 11–17.
- Gordon**, W. E., 1958. Incoherent scattering of radio waves by free electrons with application to space exploration by radar. *Proc. I.R.E.*, 46, 1824–1829.
- Grad**, M. and Luosto, U., 1987. Seismic models of the crust of the Baltic shield along the SVEKA profile in Finland. *Ann. Geophys.*, 5, 639–650.
- Haapasalo**, S., (puheenjohtaja), 1992. Ehdotus Sodankylän geofysiikan observatorioiden kehittämiseksi. *Liikenneministeriö, julkaisusarja 6/92*.
- Halila**, A., 1987. *Suomalainen Tiedeakatemia 1908–1983. Suomalainen Tiedeakatemia*, Helsinki 291 s.
- Harang**, L., 1936. Oscillations and vibrations in magnetic records at high-latitude stations. *Journ. Geophys. Res.*, 41, 329–336.
- Heino**, R. 1994. Climate in Finland during the period of meteorological observations *Finnish Meteorological Institute - Contributions* 12, 209 p.

- Hjelt**, S.-E., Korja, T., Kozlovskaya, E., Yliniemi, J., Lahti, I., BEAR and SVEKALAPKO Working Groups, 2006. Electrical conductivity and seismic velocity structures of the lithosphere beneath the Fennoscandian Shield. In: D. Gee, R. Stephenson (eds) *European Lithosphere Dynamics*, 541-559.
- Holmberg**, P., 1989. Karl Selim Lemström - fysiker, norrskenforskare och professor *Opusculum* 2–3, 67–140.
- Holmberg**, P., 1992. The history of physics in Finland 1828–1918. The History of Learning and Science in Finland 1828–1918 - *Societas Scientiarum Fennica*, Helsinki 267 p.
- Holmberg**, P. and Nevanlinna, H., 2005. Geomagnetism in Finland: the lasting legacy of Johan Jakob Nervander. *Europhysics News*, 3, 82–85.
- Jankowski**, J. and Sucksdorff, C., 1996. Guide for magnetic measurements and observatory practice IAGA, Warsaw, 235 s.
- Jelly**, D.H., 1993. Canada in Space. *International Journal of E-Learning & Distance Education*, 8/1, 15–26.
- Kakkuri**, J., 2008. Maapallon mittaaja - V. A. Heiskasen elämä. URSA, 154 s.
- Kangas**, J., Lukkari, L., Tanskanen, P., Trefall, H., Stadsnes, J., Kremser, H., and Riedler, W., 1975. On the morphology of auroral-zone X-ray events – IV. Substorm-related electron precipitation in the local morning sector. *Journ. Atm. Terr. Phys.*, 37, 1289–1303.
- Kangas**, J., 1999. Sodankylä Geophysical Observatory – 85 Years for Geophysics, *Geophysica*, 35, 2.
- Kataja**, E., 1973. The Sodankylä Geophysical Observatory in 1973. In: Keränen, J. and Sucksdorff, C. (Eds.). Collected papers to commemorate the 60th anniversary of the Sodankylä Observatory. *Veröffentlichungen des geophysikalischen Observatoriums der Finnischen Akademie der Wissenschaften*, 56, 23–59 p.
- Kataja**, E. 1999a. A short history of the Sodankylä Geophysical Observatory. *Geophysica*, 35, 3–13.
- Kataja**, E., 1999b. Eyvind Sucksdorffin syntymästä 100 vuotta. XIX Geofysiikan päivät, 13–14.
- Keränen**, J., 1917. Maamagneettisen voiman vuorokausivaihtelusta ja magneettisten häiriöiden vaikutuksesta siihen Sodankylässä vuonna 1914. *Suomalaisen Tiedeakatemia esitelmät ja pöytäkirjat* 1917, 20 s.
- Keränen**, J., 1921a. Die Dichte des frischgefallenen Schnees in Sodankylä im Winter 1917–18 nach den Beobachtungen von H. Lindfors [Vastataneen lumen tiheys Sodankylässä talvella 1917–18 H. Lindforsin havaintojen mukaan]. *Suomalaisen Tiedeakatemia toimituksia*. A8, 15 s.
- Keränen**, J., 1921b. Ergebnisse der magnetischen Beobachtungen des Observatoriums zu Sodankylä im Jahre 1914 [Magneettisten havaintojen tulokset Sodankylän observatoriosta vuonna 1914]. *Veröffentlichungen des magnetische Observatoriums der Finnischen Akademie der Wissenschaften zu Sodankylä*, 1, 65 s.
- Keränen**, J. 1933. A magnetic survey of Finland on July 1, 1930. *Finn. Met. Inst. - Stud. Earth Magn.*, 17, 39 p.
- Ketonen**, O., 1959. Suomalainen Tiedeakatemia 1908–1958. *Suomalainen Tiedeakatemia*, 338 s.
- Kivi**, R., Kyrö, E., Turunen, T., Ulich, T., Turunen, E., 1999. Atmospheric trends above Finland: II Troposphere and Stratosphere. *Geophysica*, 35, 71–85.
- Kivinen**, M., 1983. Magneettinen mittausmatka prof. Jaakko Keräsen kanssa kesällä 1970. *XI Geofysiikan Päivät*, 15–18.
- Korja**, A., Kukkonen, I.T., Heikkinen, P., Ekdahl, E., Hjelt, S.-E., Yliniemi, J., Lahtinen, R., Berzin, R. ja FIRE Working Group, 2003. FIRE - Suomen kallioperän heijastusluotaustutkimukset. *XXI Geofysiikan päivät*, Oulu. 63–66.
- Kozlovskaya**, E., Narkilahti, J., Nevalainen, J., Hurskainen, R. and Silvennoinen, H., 2016. Seismic observations at the Sodankylä Geophysical Observatory: history, present and future. *Journ. Geosci. Instrum.*, doi:10.5194/gi-2015-36, 1–34.
- Kozlovskaya**, E., and POLENET/LAPNET Working Group, 2011. Studying glacial seismic events from Greenland in the POLENET/LAPNET experiment during the IPY, 2007–2009. *XXV Geofysiikan päivät*, Oulu, 59–61.
- Kozlovskaya**, E., and J. Yliniemi, 1999. Deep structure of the Earth's crust along the SVEKA profile and its extension to the North-East. *Geophysica*, 35, 111–123.
- La Cour**, D. & Sucksdorff, E., 1936. Example d'emploi du QHM pour controle des variometres pour la declinaison et pour la force horizontale. *Det Danske Meteorologiske Institut, Communications Magnétiques*, 16, 1–11.
- Lakkala**, K., Kyrö, E. and Turunen, T., 2003. Spectral UV measurements at Sodankylä during 1990–2001. *Jour. Geophys. Res.*, 108(D19): doi:10.1029/2002JD003300.
- Lemström**, S., 1886. L'aurore Boreale, Gauthier-Villars, Paris, 199 p.
- Lemström**, S. & Biese, E., 1886–1898. Exploration internationale des régions polaires 1882–1883 et 1883–1884. Observations faites aux stations de Sodankylä et de Kultala, Tome I–III.
- Lindell**, I., 2009. Sähköön pitkä historia. Gaudeamus, 453 s.
- Lockwood**, M., Barnard, L., Nevanlinna, H., Owens, M. J., Harrison, R. G., Rouillard, A. P. and Davis, C.J., 2013. Reconstruction of geomagnetic activity and near-Earth interplanetary conditions over the past 167 years: 1. A new geomagnetic data composite. *Annales Geophysicae*, 31, 1957–1977.
- Lundin**, R., Hultqvist, B., Olsen, S., Pellinen, R., Liede, I., Zakharov, A., Dubinin, E. and Pissarenko, N., 1989. The ASPERA experiment on the Soviet PHOBOS spacecraft. In *Solar System Plasma Physics*, ed. by J. H. Waite Jr., R. L. Burch, and T. E. Moore, American Geophysical Union Monograph No 54, AGU, Washington D.C.
- Luosto**, U. and Hyvönen, T., 2001. Seismology in Finland in the twentieth century. *Geophysica*, 37, 147–185.
- Lämmerzahl**, P., Rawer, K. und Römer, M., 1979. Ergebnisse des AEROS–Satellitenprogramms. - Heidelberg (Max-Planck-Institut für Kernphysik, Rep. MPI H–1980–V3).
- Malin**, S.R.C. and Barraclough, D.R., 1991. Humboldt and the Earth's magnetic field. *Q. J. astr. Soc.*, 32, 279–293.
- Markkanen**, T., 2000. Suomen tieteen historia 3. Fysikaalinen tutkimus Suomessa, s. 82–153.
- Markkanen**, T. 2015. Suomen tähtitieteen historia. URSA:n julkaisuja 142, 261 s.
- Melander**, G., 1914. Sodankylän uuden observatorion synnystä ja merkityksestä. *Suomalaisen Tiedeakatemia esitelmät ja pöytäkirjat* 1913, 39–53.



- Melander, G.**, 1915. Berättelse öfver Finska Vetenskaps–Societetens Meteorologiska Centralanstalts verksamhet under året 1914. *Öfversigt af Finska Vetenskaps– Societetens förhandlingar*. Bd. LVII.
- Moss, K.** and Stauning, P., 2012. Sophus Peter Tromholt: An outstanding pioneer in auroral research. *Hist. Geo Space Sci.*, 3, 53–72.
- Mursula, K.**, Kangas, J., Pikkarainen, T. and Kivinen, M., 1991. Pc 1 Micropulsations at a High-Latitude Station: A Study Over Nearly Four Solar Cycles. *Journ. Geophys. Res.*, 96, 17651–17661.
- Mursula, K.**, Kangas, J. and Kultima, J., 1994. Looking back at the early years of Pc1 pulsation research, *EOS Transactions of the American Geophysical Union*, 75, 357–365.
- Möller, H.-G.**, 1961. Impulsübertragungsversuche mit schräger Inzidenz und veränderlicher Frequenz über Entfernungen zwischen 1000 and 2000 km. Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Hochschule Hannover.
- NASA**, 2004. EOS–AURA: OMI Instrument <http://aura.gsfc.nasa.gov/scinst/omi.html>.
- Nevanlinna, H.**, 1999. Geomagnetic observations at Sodankylä during the first international polar year (1882–1883). *Geophysica*, 35, 15–22.
- Nevanlinna, H.**, 2004. Historical space climate data from Finland: Compilation and analysis. *Solar Phys.*, 224, 395–405.
- Nevanlinna, H.** (Toim.), 2005. Kaisaniemestä Kumpulaan - tutkimusta, havaintoja ja ihmisiä Ilmatieteen laitoksessa. *Ilmatieteen laitos*, 264 s.
- Nevanlinna, H.**, 2009a. Geomagnetismin ABC-kirja. *Ilmatieteen laitos - Raportteja 1/2009*, 204 s.
- Nevanlinna, H.** (Toim.), 2009b. Ilmatieteen laitos 170 vuotta 1838 – 2008. *Ilmatieteen laitos - Raportteja 2/2009*.
- Nevanlinna, H.**, 2011. Magneettiset havainnot Helsingin magneettis-meteorologisessa observatoriossa 1844–1910. *Ilmatieteen laitos - Raportteja 4/2011*, 54 s.
- Nevanlinna, H.**, 2014a. On the early history of the Finnish Meteorological Institute. *Hist. Geo Space. Sci.* 5, 75–80.
- Nevanlinna, H.**, 2014b. Jaakko Keränen - Suomen sääprofessori. Ilmatieteen laitos ja Sodankylän geofysiikan observatorio. Unigrafia, Helsinki, 290 s.
- Nevanlinna, H.** ja Holmberg, P., 2013. Geomagnetismia, meteorologiaa ja revontulitutkimusta Suomessa 1700-luvulta 1900-luvun alkuun. *Bidrag till kännedom av Finlands natur och folk*. 191, 121 s.
- Nevanlinna, H.** and Pulkkinen, T.I., 2001. Auroral observations in Finland: Results from all-sky cameras, 1973–1997. *J. Geophys. Res.*, 106, 8109–8118.
- Nielsen, E.** and Schmidt, W., 2014. The STARE/SABRE story. *Hist. Geo Space. Sci.*, 5, 63 – 72.
- Niemi, S.P.A.**, 1966. Construction and use of a neutron monitor for multiplicity studies. *Ann. Acad. Sci. Fenn. Ser. A VI. Phys.* 214.
- Niemi, A.** ja Sihvola, A., 2006. Herätteitä sähkömagnetismin tutkimukseen – J.J. Nervanderin dosentinväitöskirja vuodelta 1829 Keisarillisessa Aleksanterin yliopistossa. *TKK - Sähkömagnetiikan laboratorion julkaisuja*, 24.
- Norokorpi, Y.** ja Tapaninen, S., 2000. Pallas-symposium 1999 - Lapin tutkimusmatkailusta monitieteiseen verkostoitumiseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 789, 92 s.
- Nurmia, M.**, 1960. Some inexpensive seismometer design. *Geophysica*, 7, 77–82.
- Oksman, Juhani**, 1963. Studies on the Auroral Sporadic E Ionization at Sodankylä. *Ann. Acad. Sci. Fenn. A VI* 127, 58 s.
- Oksman, J.**, 1964. Spiral Pattern of F-Region Inhomogeneities Causing Visibility Fades of Cassiopeia A. *J. Geophys. Res.*, 69, 4021–4029.
- Oksman, J.**, 2011. History of EISCAT - Part 2: The early history of EISCAT in Finland. *Hist. Geo Space. Sci.*, 2, 123–128.
- Paaskoski, J.**, 2008. Oppineiden yhteisö - Suomalainen Tiedeakatemia 1908–2008. Otava, 446 s.
- Pellinen, R.J.**, 1982. IMS ground observations on optical aurora and ionospheric absorption made in northern Europe, with examples of data handling. In *The IMS source book*, C.T. Russell and D.J. Southwood (Eds.), *American Geophysical Union*, Washington, D.C., 117.
- Pihlaja, P. M.**, 2009. Tiedettä Pohjantähden alla, *Bidrag till kännedom av Finlands natur och folk*. 181, 1–306.
- Raita, T.** and Kultima, J., 2007. Discovery of the pearl waves by Eyvind Sucksdorff. *Journ. Atm Solar-Terr. Phys.*, 69, 1600–1603.
- Ranta, A.**, 1989. Dayside Cusp Wescott 35.024 UE DC-Magnetic Field Experiment. *Sodankylä Geophysical Observatory Report*, 48.
- Ratcliffe, J. A.**, 1962. The Magneto-Ionic Theory and its Applications to the Ionosphere. Cambridge University Press, 206 s.
- Reinke, N.**, 2004. Geschichte der deutschen Raumfahrtspolitik - Konzepte, Einflussfaktoren und Interdependenzen 1923–2002. Oldenbourg Verlag München, 602 s.
- Roederer, J.**, 1976. IMS 1976–1979: New Concepts in International Scientific Cooperation. *EOS*, 57/1, 6–8.
- Rose, G.**, 1964. Über die Bestimmung der D-Schicht-Absorption für eine 2000 km lange Meßstrecke und deren Endpunkte. Universität Göttingen, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, 84 s.
- Rose, G.**, J. Oksman and E. Kataja, 1961. Round-the-World Sound Waves Produced by Nuclear Explosion on October 30, 1961, and Their Effect on the Ionosphere at Sodankylä. *Nature* 192, 1173–1174.
- Ryle, M.**, 1952. A new radio interferometer and its application for the observation of weak radio stars. *Proc. Roy. Soc.*, A 211, 351.
- Saarnisto, M.**, 1998. Suomen arktisen tutkimuksen nykytila ja strategian suuntaviivoja. *Kauppa- ja teollisuusministeriön neuvottelukuntaraportteja 4/1998*, 65 s.
- Schlegel, K.** and Lühr, H., 2014. Willy Stoffregen - An early pioneer of advanced ionospheric and auroral research. *Hist. Geo Space. Sci.*, 5, 149–154.
- Seppinen, I.**, 1988. Ilmatieteen laitos 1838–1988. Ilmatieteen laitos, Helsinki, 290 p.

- Seppinen, I.**, 2004. Suomalaisen avaruustutkimuksen historia. Yliopistopaino, 366 s.
- Seppinen, I.**, 2006. Selim Lemström. (Toim. Heikki Nevanlinna). Ilmatieteen laitos, 146 s.
- Seppinen, I.** and Pellinen, R., 2009. The history of Finnish space activities. Beauchesne, Paris, 203 p.
- Simojoki, H.**, 1978. The history of geophysics in Finland 1828–1918. The History of Learning and Science in Finland 1828–1918 - *Societas Scientiarum Fennica*, Helsinki, 157 p.
- Steinby, T.**, 1991. J.J. Nervander (1805–1848). *Föreningen konstsamfundets publikationsserie XI*, Helsingfors, 386 p.
- Stern, D. P.**, 2002. Millennium of geomagnetism. *Rev. Geophys.*, 40, 1–30.
- Stoffregen, W.**, ed., 1976. CCOG-Handbook for the IMS-GEOS (Period 1976–1979). *Circular Letter*, 7.
- Sucksdorff, C.** and Haikonen, T., 1958. The Nurmijärvi geophysical observatory. *Geophysica*, 5, 203–215.
- Sucksdorff, E.**, 1936. Occurrences of rapid micropulsations at Sodankylä during 1932 to 1935. *Journ. Geophys. Res.*, 41, 337–344.
- Sucksdorff, E.**, 1939. Giant pulsations recorded at Sodankylä during 1914–1938, *Journ. Geophys. Res.*, 44, 157–170.
- Sucksdorff, E.**, 1942. Die erdmagnetische Aktivität in Sodankylä in den Jahren 1914– 1934 [Maamagneettinen aktiivisuus Sodankylässä vuosina 1914–1934]. *Veröffentlichungen des geophysikalischen Observatoriums der Finnischen Akademie der Wissenschaften*, 25, 68 p.
- Sucksdorff, E.**, 1952. The Geophysical Observatory Sodankylä. *Geophysica*, 5, 17–47.
- Syrjäsuo, M.**, Pulkkinen, T. I., Pellinen, R. J., Janhunen, P., Kauristie, K., Viljanen, A., Opgenoorth, H. J., Karlsson, P., Wallman, S., Eglitis, P., Amm, O., Nielsen, E. and Thomas, C., 1998. Observations of substorm electrodynamics using the MIRACLE network. In: Substorms -4. Edited: S. Kokubun and Y. Kamide. *Terra Scientific Publishing Company*, Tokyo, 111–114.
- Tanskanen P. J.**, 1965. On the variation of cosmic ray meson intensity at sea level in connection with atmospheric disturbances. *Ann. Acad. Sci. Fenn. Ser. A VI. Phys.* 185.
- Troitskaya, V.A.**, Melnikova, M.V., 1959. On the characteristic intervals of pulsations diminishing by periods (10-1 sec) in the electromagnetic field of the Earth and their relation to phenomena in the upper atmosphere, *Dokl. Acad. Nauk. USSR*, 128, 917.
- Tuomikoski, P.**, 2014. Suomi 1800-luvulla. Juttuapaja, 432 s.
- Turunen, T.** (Puheenjohtaja), 1992. Satelliittimaa-aseman perustaminen Sodankylään. *Sodankylän Tietotekniikka ja avaruusprojekti*.
- Turunen, M.** and Latola, K., 2005. UV-B radiation and acclimation in timberline plants. *Environmental Pollution*, 137, 390–403.
- Turunen, T.**, Cannon, P.S. and Rycroft, M.J., 1980. ELF radio signals in the auroral ionosphere generated by non-linear demodulation of LF and/or MF transmissions. *Nature*, 286, 375–377.
- Untiedt, J.** and Baumjohann, W., 1993. Studies of Polar Current Systems Using the IMS Scandinavian Magnetometer Array. *Space Science Reviews*, 63, 245–393.
- Uoskinen, I. G.**, Valtonen, E., Vainio, R., Tanskanen, P. J. and Aurela, A. M., 2009. History of cosmic ray research in Finland. *Adv. Space Res.*, 44, 1232–1236.
- Yokoyama, K.**, Manabe, S., Sakai, S., 2000. History of the International Polar Motion Service /International Latitude Service. In: S. Dick, D. McCarthy, and B. Luzum (Eds.): Polar Motion: Historical and Scientific Problems, ASP Conference Series, 208, 147–161.
- Zakharov A.V.** and Fechtig, H., 1994. The Mars-94 and Mars-95 Missions. *Phil. Trans. R. Soc. London A*, 349, 309–321.
- Zelenyi, L.** and Sauvaud, J.-A., The Interball project after 6 years of data analysis. *Ann. Geophys.*, 20, 289–291, 2002.

## HENKILÖHAKEMISTO

**Aarnio**, Atte 157  
**Ahonen**, Adiel 30, 31  
**Alfvén**, Hannes 131, 177  
**Allen**, James Van 37, 172  
**Ampère**, André-Marie 15  
**Andergård**, Bo 227  
**Appleton**, Edward 88  
**Aulamo**, Osmo 188, 216

**Bartels**, Julius 16, 92  
**Biese**, Ernst 19, 20, 21, 23,  
**Birkeland**, Kristian 27  
**Blom**, B. 19  
**Bonsdorff**, Ernst 24, 144, 145  
**Bonsdorff**, Ilmari 34  
**Bowhill**, Sidney 98  
**Bâth**, Marcus 134  
**Bösinger**, Tilmann 131

**Campbell**, Wallace 81, 130  
**Carmichael**, Hugh 181  
**Chapman**, Sydney 16, 37

**Dahlström**, Santeri 19, 20  
**Dieminger**, Walter 91, 92, 94, 96, 97, 101, 102

**Edlund**, Erik 21  
**Ekdahl**, Elias 215  
**Ekfors**, Erkki 97, 100, 101, 102, 104, 106  
**Etsalo**, Minna 11

**Fahleson**, Ulf 171, 175  
**Faraday**, Michael 15, 107, 156, 158,  
**Fälthammar**, Carl-Gunne 175

**Gauss**, Carl Friedrich 16, 71, 75  
**Granit**, Karl 19, 20

**Hahti**, Heikki 40  
**Haikonen**, Terho 89, 90, 96  
**Harang**, Leiv 129  
**Hartmann**, Gerd 107  
**Haug**, Arne 122  
**Heacock**, Richard 131  
**Heaviside**, Oliver 88  
**Heikkilä**, Walter 197, 199, 200, 206  
**Heino**, Erkki 92  
**Heino**, Raino 187  
**Hess**, Victor 172  
**Hessler**, Victor 131, 132  
**Hilpelä**, Jyrki 11  
**Hilpelä**, Tauno 34, 35, 36, 74, 226  
**Hintikka**, Elias 40, 71  
**Holt**, Olav 122

**Hosia**, Matti 47, 51, 209  
**Huhta**, Väinö 155  
**Hultqvist**, Bengt 122, 123  
**Hurskainen**, Riitta 143  
**Hyryläinen**, Heikki 27, 72, 226  
**Hämäläinen**, Mirja 99, 193

**Jatila**, Erkki 194  
**Jaakonsaari**, Liisa 217  
**Jung**, Benno 91, 92, 95, 96, 100, 106, 154  
**Jääskeläinen**, Terttu 193  
**Jääskeläinen**, Timo 41

**Kallio**, Paavo 42  
**Kananen**, Hannu 181  
**Kangas**, Jorma 11, 130, 132, 133, 169, 170, 177,  
 177, 178, 190, 209, 215, 226, 227, 233

**Kataja**, Airi 11, 36, 44, 135, 137, 211  
**Kataja**, Arvo 36  
**Kataja**, Eero 10, 11, 34, 35, 36, 38, 44, 74, 75,  
 78, 79, 81, 83, 93, 94, 95, 97, 98, 100,  
 104, 105, 107, 110, 122, 130, 134, 148,  
 193, 198, 199, 206, 211, 214, 226, 233

**Kataja**, Hilikka 36  
**Kaukonen**, Pirkko 11, 224  
**Kennelly**, Arthur 88  
**Keränen**, Aadolf 28  
**Keränen**, Jaakko 9, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 34,  
 35, 38, 39, 40, 42, 44, 71, 72, 75, 78, 79,  
 81, 134, 145, 191, 193, 227, 231

**Keränen**, Saara 40  
**Keränen**, Siiri 9, 26, 27, 28, 35, 78  
**Kimura**, Hisashi 147  
**Kivinen**, Matti 39, 40, 42, 130  
**Koivumaa**, Seppo 108, 122, 193  
**Kokkonen**, Juho 181  
**Komppa**, Gustaf 24  
**Korhonen**, Heikki 136, 138  
**Kozlovskaya**, Elena 11, 38, 134, 138, 141, 234  
**Kozlovsky**, Alexander 11, 121  
**Kultima**, Johannes 11, 73, 78, 129, 137, 144, 146,  
 150, 226, 234  
**Kyrö**, Esko 11, 188, 194, 234

**La Cour**, Dan 32, 73, 74, 75, 78, 128, 129, 153  
**Laakso**, Tarmo 126  
**Lajunen**, Lauri 11, 48, 58, 211, 215, 234  
**Lajunen**, Marja 211  
**Lange-Hesse**, Günther 105  
**Legrand**, Jean-Pierre 170, 173, 174, 177  
**Lehtinen**, Markku 58, 126  
**Leino**, Enna 193  
**Leino**, Mauno 193  
**Leinonen**, Anna 28



**Lemström**, Selim 17, 18, 19, 20, 21, 22,  
**Levanto**, Elias 27, 31, 72, 226  
**Lindfors**, Heikki 27, 30, 31, 72, 226  
**Lindqvist**, Rune 103  
**Linna**, Markku 46  
**Lukkari**, Lasse 130  
**Lühr**, Hermann 85, 203, 204  
**Lönn**, Aino 32  
**Lönn**, Wivi 33, 35, 191  
**Löytynoja**, Lauri 156

**Mannermaa**, Raimo 41, 105, 154, 155, 193  
**Manninen**, Jyrki 11, 121, 163, 164, 166, 216  
**Marconi**, Guglielmo 88  
**Markkula**, Markku 216, 217  
**Mattila**, Pentti 91, 94, 98, 103, 227  
**Melander**, Gustaf 8, 23, 24, 25, 26, 30, 72, 84, 144  
**Moberg**, Otto 31  
**Mustonen**, Liisa 193  
**Mustonen**, Tarmo 41, 99, 100, 106, 126, 154, 155, 193, 206  
**Myrberg**, Pekka 35  
**Möller**, Hans-Georg 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 103, 154

**Narkilahti**, Janne 143  
**Nervander**, Johan Jakob 15, 16  
**Nevanlinna**, Harri 38  
**Nevanlinna**, Heikki 15, 16, 21, 22, 31, 38, 39, 44, 69, 70, 71, 72, 83, 85, 102, 144, 146, 183, 227, 235  
**Nevanlinna**, Risto 11  
**Niemi**, Sauli 181  
**Nordenskiöld**, Adolf Erik 17, 21  
**Nordenskiöld**, Axel Erik 17  
**Nurmia**, Matti 135, 138

**Oersted**, Hans Christian 15  
**Oikarinen**, Antti 165  
**Oksman**, Juhani 11, 38, 44, 98, 99, 103, 106, 108, 110, 114, 116, 123, 126, 149, 154, 170, 195, 196, 198, 199, 201, 209, 236  
**Olson**, John 131  
**Oterma**, Liisi 145  
**Owren**, Leif 97

**Paarman**, Akseli 35  
**Palmén**, Erik 29, 237

**Pellinen**, Risto 11, 197, 198, 199, 200, 202, 206, 237  
**Pesonen**, Viljo 211  
**Petreljus**, Alfred 19, 20, 24, 25

**Piggot**, Roy 91  
**Porkka**, Mauno 135  
**Postila**, Markku 156  
**Pulliainen**, Jouni 188  
**Pura**, Martti 208, 214

**Rahkamaa**, Erkki 170  
**Raita**, Tero 11, 73, 76, 78, 129, 237  
**Ranta**, Aarne 11, 159, 198, 206, 207, 215  
**Ranta**, Hilikka 154  
**Rantala**, Timo 155, 221  
**Ranta**, Osmo 123, 124  
**Rapeli**, Pentti 188, 192  
**Riihimaa**, Jorma 109, 110  
**Riipi**, Mika 216  
**Rose**, Gerhard 91, 92, 95, 103, 104  
**Ruumensaari**, Kullervo 154, 155, 193  
**Rytkönen**, Tanja 189

**Saarnisto**, Matti 51, 190  
**Sandman**, Regina 96  
**Savolainen**, Anna-Liisa 194  
**Schmidt**, Adolf 26  
**Seppänen**, Maunu 34, 74, 77, 226  
**Silvennoinen**, Hanna 138, 141, 143  
**Solin**, Heikki 48  
**Stoffregen**, Wilhelm 38, 85, 196, 203  
**Störmer**, Carl 27, 32, 84, 85, 87  
**Sucksdorff**, Annikki 33, 87, 231  
**Sucksdorff**, Christian 38, 39, 40, 75, 81, 89, 130, 198  
**Sucksdorff**, Esra 33  
**Sucksdorff**, Eyvind 10, 27, 31, 32, 34, 36, 38, 39, 73, 74, 75, 77, 79, 83, 84, 86, 128, 129, 131, 132, 191, 226, 27, 231  
**Sucksdorff**, Jean 32  
**Sucksdorff**, Liisa 33  
**Sulkinoja**, Matti 42  
**Sundman**, N. 19  
**Suomenrinne**, Anna 42  
**Syvänne**, Elli 36

**Taalas**, Petteri 194, 215  
**Tallqvist**, Stefan 156  
**Tanskanen**, Pekka 11, 168, 169, 170, 171, 173, 177, 181, 182, 209, 238  
**Tarjanne**, Onni 26  
**Tervo**, A. 25  
**Tiuri**, Martti 103, 122, 156  
**Toepfer**, Otto 71  
**Troitskaya**, Valerie 131, 132, 133  
**Tuomikoski**, Pentti 168  
**Turunen**, Anna-Liisa 126  
**Turunen**, Esa 11, 58, 121, 190, 211, 212, 226, 238

**Turunen**, Tauno 11, 118, 119, 123, 162, 164, 165, 171, 190, 206, 209, 212, 226, 239

**Ulich**, Thomas 11, 87, 121, 161, 226  
**Usoskin**, Iliya 11, 181, 239  
**Uutela**, Olli 155

**Vala**, Klaus 40  
**Valtaoja**, Esko 149  
**Vesanen**, Eijo 134  
**Vilkki**, Pekka 155  
**Vilppola**, Anna-Liisa  
**Voelker**, Hans 130  
**Vuorela**, Lauri A. 38, 46, 175, 198, 227  
**Väisälä**, Vilho 29, 35, 38, 71, 193, 227  
**Väisälä**, Yrjö 32, 34, 144, 145, 146, 148, 151, 226

**Weber**, Wilhelm 16  
**Weyprecht**, Karl 17  
**Wild**, Heinrich von 17, 22

**Äijänen**, Tapio 126

**Öhmann**, Emil 35

