

## Moodsate kliimauuringute algus Eestis

*Sirje Keevallik*

Selleks, et 1980-ndatel aastatel saaksid Eestis hakata arenema edukad kliimauuringud, oli vaja kombinatsiooni isiklikust energiast, kõrgetasemelisest matemaatikast ja võimalusest käia teaduslikel üritusel väljaspool praktiliselt suletud Nõukogude Liitu.

1978. aastal sai Eesti NSV Teaduste Akadeemia Astrofüüsika ja Atmosfäärifüüsika Instituudi (AAI) vanemteadur Olev Avaste uskumatu võimaluse töötada kolm kuud Ameerika Ühendriikides. Ta viibis 1. septembrist kuni 26. novembrini Fort Collinsis, Colorado Riiklikus Ülikoolis. Olev Avaste oli 1975. aastal kaitsnud doktoritöö „Lühilaineline kiirgusväli Maa atmosfääris“, mille oluliseks osaks oli päikesekiirguse levimine vahelduva pilvisuse tingimustes. Tema energia, suurepärane suhtlemisoskus ja hea inglise keel olid eelduseks, et tal tekkis sõpru rahvusvahelises teadusmaailmas. Fort Collinsis aga valmis kollektiivne monograafia ookeanide kohal oleva pilvevälja hinnangust (Avaste jt, 1979).

Satelliitmeteoroloogia alguseks võib lugeda Explorer 7 saatmist orbiidile 13. oktoobril 1959. Sellel kasutati Maa kiirgusbilansi mõõtmiseks Verner Suomi radiomeetrit, mis koosnes mustast ja valgest poolsfäärist. Idee oli lihtne: must neelab kõik, valge ainult infrapunase kiirguse.

1970. aastateks olid oma töö teinud juba TIROS-seeria satelliidid (*Television and Infrared Observational Satellite*), mida hiljem hakati kutsuma NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) satelliitideks. Monograafia ilmumise ajaks oli töös juba NOAA-4, mille nähtavas spektris osas skaneeriva radiomeetri andmed olid saadaval aastatel 1975–1976.

Esimeste meteoroloogiliste satelliitide infost olid huvitatud mitmed valdkonnad. Militaristidele pidid muidugi füüsikud andma tähtsaima teabe: kus ja millal on Maa kohal pilvevabad alad. See küsimus oli statistiliselt täiesti asjakohane, sest ligikaudu pool maakerast on pilves. Aga sellised atmosfäärifüüsikutele olulised atmosfääri seisundit iseloomustavat suurused nagu kiirgusbilans ja pilvkatte ulatus ning paksus globaalses plaanis olid tollal veel täiesti uurimata. Nii ongi ülnimetatud kollektiivses monograafias pigistatud satelliidipiltidest välja nii palju kui võimalik: eri andmestike võrdlus, pilvevälja aastane muutlikkus ookeanide kohal, pilvisuse trendid mõne väiksema piirkonna kohal. Kõige paljulubavamad olid aga esimesed vihjed sellele, et pilvehulka saab hinnata Maa kiirgusbilansi komponentide kaudu. Selleks võeti aluseks vaatlustest tuntud tõde, et pilved on nähtavas kiirguses heledamad kui aluspind, mistõttu ülalt vaadates peaks Maa albeedo ehk peegeldunud kiirguse suhe pealelangevasse olema järgmine:

$$A = A_S(1 - C) + CA_C, \quad (1)$$

kus  $A$  on mingi piirkonna albeedo,  $A_S$  on selge taeva albeedo,  $C$  on pilvehulk ja  $A_C$  on pilvkatte albeedo.

Paneme tähele, et kollektiivse monograafia paljude autorite hulgas on ka AAI teadur Olavi Kärner, pühendunud matemaatik. Et satelliidiandmeid on erinevaid ja palju, oli vaja kedagi, kes oskaks neid statistiliselt töödelda ja seeläbi suurest arvudemassist olulise välja sõeluda. Nii võttiski Olev Avaste kampa Olavi Kärneri, kelle 1974. aastal kaitstud kandidaaditöö sisuks oli Tõravere aktinomeetriaaamas registreeritud pilvisuse ja summaarse kiirguse andmete ajalise muutlikkuse uurimine. Juba siin näitas Olavi end oivalise aegridade analüüsi spetsialistina.

Järgmisena naasis Olev Avaste Ameerikast suure magnetlindiga, millel olid NOAA satelliitide skaneeriva radiomeetri andmed planetaarse albeedo kuu keskmiste väärtuste kohta ajavahemikul 1974–1977 võõndis laiusega 60°S–60°N. Kastide suurus oli 2,5° x 2,5°. Sama lahutusega 15 päeva keskmised olid pärit Nimbus-3 mõõtmistest ajavahemikus 1969–1970.

Peagi valmis nende andmete põhjal esimene uurimus (Avaste jt, 1981), kus valem (1) kasutades hinnati pilvisuse hulka võõtmes 45°N–45°S. Viidati ka raskusele, et mingi ruudu kohal oleva planetaarse albeedo väärtus võib tähendada kaht täiesti erinevat asja: pilvede väike albeedo ja ruudu suur kaetus või pilvede suur albeedo ja vähene hulk. Kokkuvõttes aga tõdeti, et seniste meetoditega saab pilvehulga kohta rahuldavaid tulemusi vaid siis, kui on tegemist ühtlase aluspinnaga või piirkonnaga, kus on vähe pilvi.

Kohe järgnes ka esialgne uurimus pilvede üläpiiri temperatuuri kohta (Avaste jt, 1982). Siin kasutati valemile (1) sarnast valemil planeedilt lahkuva soojuskiirguse jaoks:

$$\Phi = \Phi_S(1 - C) + C\Phi_C, \quad (2)$$

kus  $\Phi$  on mingist piirkonnast lahkuv pikalaineline kiirgus,  $\Phi_S$  on selge taeva korral lahkuv pikalaineline kiirgus,  $C$  on pilvehulk ja  $\Phi_C$  on pilvkattelt lahkuv pikalaineline kiirgus.

Nii sai lisaks pilvede hulga mingi täpsusega määrata ka pilvede üläpiiri kõrguse eeldusel, et nii aluspind kui ka pilved kiirgavad nagu absoluutselt must keha. Loomulikult analüüsiti vaid ookeani kohal olevaid ruute, sest temperatuuri ebaühtlane jaotumine maismaal ei andnud viisakaid hinnanguid suuremalt alalt lähtuva soojuskiirguse kohta.

Need uurimused jõudsid kähku ka rahvusvahelisele areenile. Esialgsed tulemused kandis Olev Avaste ette IAMAP-i konverentsil juba aastal 1981. Minul aga õnnestus osaleda COSPAR-i (*Committee on Space Research*) konverentsil, misjärel meie ettekande laiendus jõudis trükki (Avaste jt, 1985). Samuti sain rääkida pilvisuse parameetritest eri kliimavööndites IAMAP-i konverentsil 1985. aastal Honolulu.

Aga läheme ajas veidi tagasi. 1983. aastal oli kaheteistkümmel Eesti teadlasel võimalus osaleda Hamburgis toimival IUGG (*International Union of Geodesy and Geophysics*) peassambleel. Nimelt võttis Eesti NSV Teaduste Akadeemia Termofüüsika ja Elektrofüüsika Instituudi uurimislaev Aju-Dag nad pardale ja viis Hamburgi, kus meremehed muutusid tusasteks, sest pikalt kai ääres seismine polnud neile kasulik. Tollal oli üsna vabalt maailmas ringi liikuv Olev Avaste parajasti Rahvusvahelise Kiirguskomisjoni (IRC) liige ja pidi edasi liikuma Rahvusvahelise Meteoroloogia ja Atmosfäärifüüsika Assotsiatsiooni (IAMAP) Täitevkomiteesse. Ta arvas, et mina võiksin tema asemel tegutseda kiirguskomisjonis ja oli sel teemal juba komisjoni esimehe Hans-Jürgen Bollega rääkinud. Kui ma tema saatel komisjoni istungile ilmusin, nägin mõnevõrra üllatunud nägusid – mu eesnimi ei lubanud ju aimata, mis soost on kandidaat. Igal juhul tegutsesin kiirguskomisjonis aastatel

1983–1992 ja 1996–2004. Vahepeal oli liikmeks Olavi Kärner, nii et Eesti järjepidevus seal ei katkenud. Peagi saabus Tõraverre järgmine magnetlint. Sedapuhku oli selle transportinud üle ookeani Kirill Kondratjev ja see sisaldas Nimbus-7 andmeid ajavahemikul novembrist 1978 kuni oktoobrini 1986. Paljude muude programmide seas oli sellel satelliidil spetsiaalne eksperiment Maa kiirgusbilansi hindamiseks, mille tarbeks oli 10 Päikese poole ja 12 Maa poole suunatud kanalit. Osa neist läks üsna kähku rivist välja, aga ülejäänud registreerisid peegeldunud kiirgust lainepikkuste vahemikus 0,2–3,8  $\mu\text{m}$  ja kogukiirgust lainepikkuste vahemikus 0,2–50  $\mu\text{m}$ . Siit sai hõlpsasti eraldada kiirguse lühilainelise ja pikalainelise osa. Ruutude suurus arhiivis oli sedapuhku 500  $\text{km}^2$ .

Esimesed artiklid ilmusid jälle Moskvast ja käsitlesid pilvitu taeva planetaarse albeedo määramist ning kuu keskmise pilvisuse ümberjaotumist suures piirkonnas, milles aasta keskmine pilvehulk jääb samaks. Jälle ruttasime seda esitama väljastpool Nõukogude Liitu, sedapuhku 1988. aastal toimunud Rahvusvahelisel Kiirguskonverentsil IRS (International Radiation Symposium) Lille'is (Keevallik ja Kärner, 1989a). 1989. aasta IAMAP-i konverentsil aga oli teemaks juba pilvede kiirgusmõjutus ehk vahe hüpoteetiliselt pilvitult atmosfäärilt lähtuva ja satelliidilt tegelikult mõõdetud kiirgusvoogude vahel (Keevallik ja Kärner, 1989b).

Edasi võttis Olavi käsile süvamatemaatilise statistika, mis lubas pilvehulga empiirilisest sagedusjaotustest eraldada normaaljaotuste komponendid. Kõigepealt võeti vanade maapealsete vaatluste alusel koostatud pilveatlase andmed ja katsetati seda NSV Liidu Euroopa-osa jaoks aastatel 1979–1981. Tulemusena sai selgesti eristada pilverežiime, mis on seotud tsükloonaalse ja antitsükloonaalse tsirkulatsiooniga. Loomulikult oli himu rakendada sama meetodit Nimbus-7 kiirgusandmetest tuletatuga. Seda saigi tehtud väga väikese osa kohal troopilisest ookeanist, kus pilvede sagedusjaotustest ilmnes El Niño mõju. Nüüd tuli Olavil hulljulge plaan mitte enam loota konverentsietekannetele järgnenud publikatsioonidele, vaid saata artikkel otse mingisse mainekasse ajakirja. Nii saigi tehtud ja artikkel pärast pool aastat kestnud ümbertegemist avaldatud (Kärner ja Keevallik, 1990). Sellest innustust saanud, tuli Olavi välja järjekordse esialgu võimatuna tundunud mõttega: Maa kiirgusbilansi põhilisteks modulaatoriteks on pilved. Nende jaotust ja ümberjaotust on palju kirjeldatud, pilvede kiirgusmõjutust ja kiirgusbilansi tundlikkust pilvevälja muutuste suhtes uuritud. Miks mitte kirjutada ingliskeelne monograafia

Aga vahepeal tuli korraldada Rahvusvaheline Kiirguskonverents IRS'92.

Olev Avaste oli kogu elu jooksul agaralt tegev teadustöö organiseerimisel. Ta valiti IRC liikmeks 1975. aastal ja juba järgmise aasta sümposiumil IRS'76 Garmisch-Partenkirchenis kutsus ta IRC liikmeid üles korraldama järgmine kohtumine Tallinnas. Sel aastal komisjonis siiski hääletamiseni ei jõutud. See toimus 1977. aastal IAMAP-i konverentsi ajal Seattle'is. Tallinnale oli vahepeal tekkinud konkurendiks Fort Collins, Colorado, mis ka järgmise sümposiumi koha endale sai. Avaste ei jätnud jonni, vaid esitas Tallinna kandidatuuri IRS'84 toimumise kohaks. Jälle toimus hääletamine IAMAP-i konverentsil Hamburgis aastal 1981. Seekord tuli Tallinnal hääletage 8: 13 alla jääda itaallaste pakutud Perugia. Kuna IRS'88 oli pea automaatselt antud kiirguskomisjoni tollase presidendi Jacqueline Lenoble'i kodulinnale Lille'ile, siis tuli Tallinnal jälle neli aastat oodata. Aga Lille'is me võitsime. Asusime kohe tegutsema. Tagasilöökk tuli aastal 1991 Viinis IUGG peaassambleel, kus kohal olles kuulsime putšist Moskvast ja tankidest Tallinnas. Siis tuli ka päevavalgele, kes on kes ... Esialgu jäi küsimus lahtiseks. Aga et poliitiline olukord stabiliseerus pea-

gi, jätkasime ettevalmistusi.

Kiirguskonverentside ajalugu algab aastaga 1932. Teemaatika on alati olnud seotud sellega, mis maailmas on parajasti aktuaalne. Nii käsitles IRS'32 peamiselt mõõtmistehnika probleeme, IRS'64 kiirguslevi teooriat ja infrapunaspetroskoopiat, aga ka kiirgusvälja seoseid atmosfääri tsirkulatsiooniga ja kiirgusvoogude vertikaalprofiilide mõõtmist. IRS'76 pani rõhu aerosoolile ja atmosfääri kaugseirele lidarite ja satelliitide abil. Et IRS'88 peamised teemad olid seotud pilvede ja kiirgusbilansiga ning huvi kiirguse ja kliima seoste vastu üha kasvas, siis otsustasime pärast pikki vaidlusi instituudis sellega jätkata.

Sümposiooni korraldamisest poliitilise ja majandusliku turbulentsi tingimustes võiks kirjutada terve raamatu. Siin piisab ehk sellest, et eelarveid tuli teha kolm: rublades, dollarites ja Eesti kroonides. Külaliste kutsujaks oli AAI eesotsas tollase direktori Tõnu Viigiga. Kogu sekretäritöö võttis enda õlgadele imeline Tiiu Pehk. Aga sellest jäi väheks, sest poliitilise olukorra muutumise järel ei töötanud enam tavalised toimeahelad. Õnneks oli AAI-l abiks võtta 1989. aastal loodud optimistlik infotehnoloogiaettevõtte ASTRODATA, kus ka kõige raskemad ülesanded lahendati nalja ja naeru saatel. Ettevõtet juhtis Jaak Anton, talle sekundeerisid Peeter Kalamees ja Kaarel Ross.

Sümposioonil oli neli sektsiooni, millel kõigil oli rahvusvahelise juhataja kõrval ka keegi Eestist. Nii olid ametis Sirje Keevallik (*Cloud Radiative Interactions*), Olavi Kärner (*Radiation and Dynamics in Climate*), Rein Rõõm (*Remote Sensing of the Atmosphere and the Land Surface*) ja Aavo Heinlo (*Fundamental Problems of Atmospheric Radiation*). Kogu konverents aga oli pühendatud Olev Avastele, kes suri 18. juulil 1991.

Sümposioonil oli 174 osavõtjat 21-st riigist, sealhulgas 22 Eestist. Teeside arv oli 311, sealhulgas 13 Eestist. Päevselge, et rahvusvahelise konverentsi toomine koju kätte lubas selles osaleda ka neil, kes naljalt välismaale ei pääsenud – nõukogude ajal poliitilistel põhjustel ja uuel ajal rahapuudusel.

Oli kombeks, et konverentsikogumiku toimetajateks on sümposiooni kohalikud korraldajad. Nii ka seekord (Keevalik ja Kärner, 1993). Selles kogumikus on Eesti teadlaste artikleid 10.

Pärast lühikest hingetõmbeaega jätkasime monograafiaga. Vahepeal oli Nimbus-7 andmete põhjal tekkinud kaheparametrilise efektiivse pilvisuse kontseptsioon (Kärner jt, 1992). Lähtuti ikka valemite (1) ja (2), aga täpsustati aluspinna albeedo määramist, mis lubas 500 km<sup>2</sup> suuruste ruutude baasil anda kuu keskmise selge taeva albeedo kogu vööndis 58,5°S–58,5°N jaanuari ja juuli jaoks. Pilvekihi tsonaalne albeedo loeti sõltuvaks Päikese seniitnurgast, lahkuv pikalaineline kiirgus selge taeva puhul arvutati temperatuuri ja niiskuse ning CO<sub>2</sub> ja O<sub>3</sub> kontsentratsiooni kliimaatilistest andmetest. Teatud piirangutega tuletati soojuskiirguse andmetest pilvekihi ülemise piiri kõrgus. Defineeriti ka efektiivse pilvisuse mõiste. Nimelt lähtuti asjaolust, et pilvehulk  $C$  on võrdeline planetaarse albeedo ja selge taeva albeedo vahega ( $A - A_S$ ), jättes tähelepanuta pilvede vertikaalse jaotuse ja selle mõju. Samuti võib muutada pilvede albeedo, aga ka see taandati pilvehulga muutusteks, sest tollal pakkus huvi peamiselt pilvkatte energeetiline efekt. Nii tekkisid 8 aasta kuukeskmised kaardid efektiivse pilvisuse hulga ja pilvede ülapiiri kõrguse kohta koos ruutkeskmise hälbiga. Need saidki monograafia alustaladeks (Kärner ja Keevallik, 1993).

Monograafia publitseerimine oli tihedasti seotud kiirguskonverentsiga, sest konve-

rentsikogumiku kirjastajaks oli traditsiooniliselt A. Deepak Publishing, mille omanik Adarsh Deepak oli ühtlasi tunnustatud atmosfäärifüüsik. Seepärast saime temaga kergesti kaubale.

Poliitiliste mullistuste aega jäi veel üks oluline sündmus, mis avas Eesti kliimauurijatele tee Euroopa teadusmaailma – Läänemere Eksperimendi BALTEX loomine. Selle eestvedaja oli Ehrhard Raschke, kelle tegevus atmosfääri kiirguse valdkonnas oli laienenud huviks kogu energia ja vee ringkäigu vastu. Pärast raudse eesriide varisemist sai ta esimesena aru, et nüüd on lõpuks võimalus ühendada kõik Läänemere vesikonnas asuvate riikide meteoroloogilised, hüdrooloogilised ja okeanograafilised andmebaasid, et neid kasutada nii traditsioonilisteks kliimauuringuteks kui ka toimuva modelleerimiseks. Tallinnas toimunud kiirguskonverentsi ajal esitaski ta oma nägemuse. Eesti roll oli esialgu andmete ühtlustamine ja digitaliseerimine, aga tänu BALTEX-i teaduskonverentsidele, mida ühtekokku korraldati seitse, läks ka nn Idabloki maades rõhk teadustegevusele, nii et alates aastast 2001 kuni BALTEX-i lõpuni aastal 2013 kuulusin Eesti esindajana BALTEX-i teadusnõukogusse ja sain BALTEX-i viimasel teaduskonverentsil teha kokkuvõtte emotsionaalsest koostööst ida ja lääne vahel (Keevallik, 2013).

BALTEX-i teaduskonverentsi hakati korraldama aastal 1995, seda tehti igal kolmandal aastal ja toimumiskohtadeks olid eranditult Läänemere saared. Eestist oli ettekandeid järgmiselt: Gotlandil 11, Rügenil 5, Ahvenamaal 9 ja Bornholmil 8. Viimasel kolmel konverentsil Saaremaal, Wolinil ja Ölandil oli igaühel Eestis 13 ettekannet. Kuningakodade huviliste jaoks lisan, et BALTEX-i viimase, 2013. aasta konverentsi esimesel päeval viibis kuulajate esireas ka Rootsi kuningas Carl XVI Gustaf. Paneme nüüd tähele huvitavat asjaolu: just sel aastal, mil ilmusid IRS'92 kogumik ja raamat efektiivsest pilvisusest, kaitses Olavi Kärneri käe all valminud doktoritööd Piia Post, kellest aastal 2013 sai BALTEX-ist välja kasvanud projekti Baltic Earth teadusnõukogu liige ja aastal 2023 Tartu Ülikooli kliimateaduste professor. See tähendab, et Olev Avaste poolt istutatud ja Kärner-Keevalliku tandemi poolt hoolega kastetud taimed on kasvatanud ilusad õied.

### Kasutatud kirjandus

- Avaste, O.A., G.G. Campbell, S.K. Cox, D. De Masters, O.Ü. Kärner, K.S. Shifrin, A.E. Smith, E.I. Steiner, and T.H. Vonder Haar. On the estimation of cloud-amount distribution above the World Oceans. Colorado: Atmosph. Science Pap. No. 309, Colorado State University, Fort Collins; 1979.
- Avaste jt 1981 = O.A. Авасте, O.Ю. Кярнер, С.Х. Кээваллик. О количестве облаков в зоне 45°с.ш.–45°ю.ш. над земным шаром. Метеорология и гидрология, 7, 54–60.
- Avaste jt 1982 = O. Авасте, O. Кярнер, С. Кээваллик. Оценка температуры верхней границы облачности над Мировым океаном. Метеорология и гидрология, 6, 54–59.
- Avaste, O., O. Kärner, S. Keevallik. Statistical estimation of cloudiness parameters. *Advances in Space Research*, 1985; 5, 6, 187–195.
- Keevallik, S., O. Kärner. On cloud amount probability distributions. In: *IRS'88: Current Problems in Atmospheric Radiation*. Ed. by J. Lenoble and J.-F. Geleyn, A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia; 1989a.
- Keevallik, S., O. Kärner. Statistical analysis of shortwave cloud forcing above the tropical oceans. *IAMAP V Scientific Assembly, Reading, 31 July – 11 August 1989. Abstracts, RB–15; 1989b.*

- Keevallik, Sirje and Olavi Kärner (Eds.). IRS'92: Current Problems in Atmospheric Radiation. A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia; 1993.
- Keevallik, Sirje. East and West and BALTEX. BALTEX Newsletter, 2013; No. 16.
- Kärner, O. and S. Keevallik. Gaussian components of cloud amount frequency distributions. *Theoretical and Applied Climatology*, 1990; 41, 69—79.
- Kärner, O., S. Keevallik and P. Post. A two-parameter approximation in cloudiness variability studies. *Atmospheric Research*, 1992; 27, 231—252.
- Kärner, Olavi and Sirje Keevallik. *Effective Cloud Cover Variations*. A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia; 1993.