

MAA ATMOSFÄÄR JA KLIMATOLOOGIA

Kalju Eerme
Tartu Observatoorium

SISSEJUHATUS

Maa atmosfäär moodustab veidi vähem kui ühe miljondiku planeedi kogumassist. Atmosfääri uurimine toimub tihedas rahvusvahelises koostöös, millesse suurte riikide panused ning kulutused on mõõtnatult suuremad kui väikeriikide omad. Atmosfäär teeb ja toob kohale meie igapäevast ilma. Ekstreemsed ilmastikunähtused põhjustavad kuni 95% kõigist loodusõnnetuste tekitatud materiaalistest kahjustest. Nii kliima muutumise kui looduskatastroofide ennustuse adekvaatus annab suuri eelseid karmis tulevikumaailmas toimetulemiseks. Niisiis on ka nii väikeses riigis kui Eesti otstarbekas ilma, kliimat ja atmosfääri üldse professionaalsel tasemel uurida ja pidada ennast kursis kõigega, mida muu maailm selles vallas teeb.

ATMOSFÄÄRIFÜÜSIKA EESTIS ENNE JA PÄRAST TAASISESEISVUMIST

Atmosfääriuuringud on saanud alguse ilmavaatlustest ja vajadusest ilma ennustada. Kaasaegsele meteoroloogiale ja atmosfäärifüüsikale Eestis on alusepanijaks 1865. a regulaarsete ilmavaatustega alustanud Tartu Ülikooli meteoroloogiaobservatoorium. Pärast Teist maailmasõda oleks rahvuslik teaduslik uurimistöö selles valdkonnas võinud kergesti lõppeda. Tähtis märksõna tuleviku suhtes on aktinomeetriaajaam, mis töötab väljaspool linna 1950. aastast, kannab praegu ametlikult Tartu-Tõravere meteoroloogiaajaama nime ning kuulub rahvusvahelisse kiirgusmõõtmiste baasjaamade võrku BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*). Mitmete asjaolude kokkusattumise tulemusel suunati Tartu Ülikooli teoreetilise füüsika erialal lõpetanud hilisem akadeemik Juhan Ross (1925–2002) aktinomeetriaajaama juhatajaks, tõstis selle

peagi üleliidulisele tippasemele ja kujundas teadustöö baasiks. Tollases Füüsika ja Astronoomia Instituudis arenes välja praeguste mõõdupuude järgi suur atmosfäärifüüsika sektor, mille töötajatest kuus inimest on kaitsnud N. Liidu doktori kraadi. Neli sarnase mahuga tööd kaitsi juba taastatud Eesti Vabariigi ajal. Lisaks on kaitsstud arvukalt kandidaadikraade. Edasine töö viis Juhan Rossi ja paljud tema kaastöötajad teemade juurde, millest on juttu käesoleva kogumiku teistes kirjutistes. Praeguse ni kuulub selle koolkonna esindajatele silmapaistev koht maailmateaduses nii kiirguslevi kui kaugseire teoorias.

Tartu Observatooriumis on astrofüüsika ja atmosfäärifüüsika mitu aastakümnet ühise katuse all edenenud. Osa, enamikus astronoomiaustaga uurijaid, jõudis atmosfäärifüüsikasse helkivate ööpilvede teema juurest, mille koordinaatoriks Eesti ja hiljem koguni kogu N. Liidu ulatuses sai amatöörastronoomina alustanud Charles Villmann (1923–1992). Tihedad sidemed Moskvast N. Liidu Geofüüsika Komiteega ja selle kaudu muude mõjukate ringkondadega võimaldasid 1960date lõpuaastatel kavandada uuringuid N. Liidu orbitaaljaamade pardalt. Uuringud kosmosest puudutasid mitte ainult helkivaid ööpilvi, vaid keskatmosfääri (stratosfääri ja mesosfääri, laias laastus kõrguste vahemikku 10–100 km) laiemalt. Löögil põhiseisel mängis kindlasti olulist rolli asjaolu, et militaaringkonnad tundsid kõrgendatud huvi kõigi loodusunähtuste vastu, mille esinemine võis kuidagiviisi nende huvialuste objektide jälgimist segada. Atmosfääri ja kliimat puudutav uurimistöö mõnevõrra väiksemas mahus toimus samal ajal ka praeguses Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudis (EMHI), Eesti Agrometeoroloogia Laboratooriumis Sakus ja muidugi Tartu Ülikoolis.

Meteoroloogide-klimatoloogide on seal koolitatud paralleelselt nii geograafia kui füüsikahariduse baasil. 1965. a likvideeritud astronoomia ja geofüüsika kateedri asemele avati 1983. a taas geofüüsika kateeder, praeguse keskkonnafüüsika instituudi eelkäija. Selle esimeseks juhatajaks kutsuti Tartu Observatooriumist professor Olev Avaste (1933–1991). Paleokliimaatilised uuringud toimusid Eesti TA Geoloogia Instituudis ja Ökoloogia Instituudis.

Kaua oodatud ja loodetud Eesti iseseisvumisega kaasnes suur ümberhäälestumine. Tegevteadlaste hulk tõmbus kokku ja mitmesugused abiteenistused kadusid hoopis. Atmosfääriteadustes lõppesid täielikult oma aparatuuriga tehtud vahetud uuringud kosmosest. Selle valdkonna insener-tehniline personal suundus tööle teistele elualadele. Kosmosesaparatuuride projekteerimine ja valmistamine lõppes ka TA Füüsika Instituudis ning TA SKB allüksustes. Liideti, lahutati ja likvideeriti ka maisemate asjadega tegelenud üksusi. Enamikus atmosfääriteaduste lõikudes jätkus siiski uurimistöö varem väljakujunenud suundades ja on jätkuvalt olnud küllaltki edukas. Järgneb põgus ülevaade kümnekonna viimase aasta tegemistest kiirguse ja klimatoloogia uuringute vallas.

KLIMATOLOOGIA

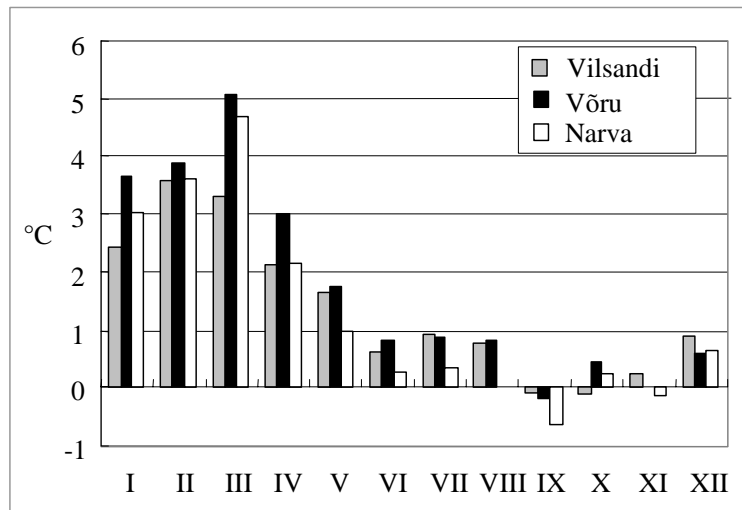
Alates umbkaudu 1970. aastast täheldatakse maailmas loodusõnnetuste sagenemist ja kilbile on tõusnud osaliselt inimtegevusest põhjustatud kliima soojenemise võimalus. Sellega on kaasnenud pidev huvi tõus kliimamuutuste uurimise vastu. Ka Eestis talletatud ilmavaatluste arhiivimaterjalid ja muud kaasnevad andmed on sellel huvi kasvu taustal järjest hoolikamalt läbi uuritud ja see töö kestab Tartu Ülikoolis (Jaak Jaagus, Hanno Ohvril, Piia Post jt), Tartu Observatooriumis (Olavi Kärner, Viivi Russak) ja Eesti Mereakadeemias (Sirje Keevallik). Kliima muutumise otsest põhjustajat tuleb otsida atmosfääri suuremõõtmelise tsirkulatsiooni muutustes. Ilma teeb antitsüklonite ja tsüklonite muster, mille vaheldumise kliimaatilisi tagajärgi osutub otstarbekaks uurida teatud ilmastikuklasside e ilnamustrite esinemise sage-

duse alusel. Detailsemalt on seda Eesti kohta olnud võimalik uurida alates 1950. aastast. Mõnede kliimakarakteristikute muutumist on võimalik tagasiulatuvalt jälgida isegi 19. sajandisse ulatuvalt. On selgunud, et tsükliliselt vahelduvad päikeselisemate ja vihmaseimate ilmadega suved, samuti külmad ja heitlikud soojapoolsed talved ning eriti viimaste vaheldumisel on seos Põhja-Atlandi ostsillatsioonindeksiga ja Arktilise ostsillatsioonindeksiga. Mõlema indeksi positiivsed väärtused kajastavad keskmisest suuremat õhurõhu kontrasti subtroopiliste ja polaarliuste vahel ning ühtaegu tugevamat õhuvoolu läänest itta. Uuringud on selgelt näidanud, et kliima muutused Eestis on seotud läänevoolu tugevnemisega külmal poolaastal, eelkõige veebruaris ja märtsis. Sellega kandub Põhja-Atlandi kohalt üha rohkem soojemat õhku kaugele sisemaale, põhjustades temperatuuri tõusu ja rohkelt sademeid. Kui varasematel kümnenditel kulges läänevool üle Eesti rohkem loodest, siis viimasel ajal domineerib edela suund (S. Keevallik). Samuti on selgunud, et 20. sajandi keskpaiga rahuliku olukorraga võrreldes on meie kandis tormid saagenud ja tugevnenud nagu mitmel pool mujalgi.

Kliimamuutuste uurimisel rakendatakse füüsikalist modelleerimist ja statistilisi meetodeid. Mõlema meetodite klassi puhul on järeldused tundlikud mudeli adekvaatsuse ja algandmete täpsuse suhtes. O. Kärner on hiljuti aegriidade mittestatsionaarsuse kvantitatiivse analüüsi baasil kritiseerinud kliima antropogeense soojenemise lihtsustatud käsitlusi just rakendatavate meetodite matemaatilise korraksuse seisukohalt ja näidanud väärate järelduste võimalikkust.

Tartu Ülikooli geograafia instituudis on Eesti taasiseisvumise järel klimatoloogide keskseks uurimisteemaks olnud kliima muutuste ja nende tagajärgede kindlakstegemine. Vaatlusandmete põhjal selgub, et 20. sajandi teisel poolel on toimunud ka Eestis märkimisväärne õhutemperatuuri tõus. Aasta keskmine temperatuur on 50 aasta jooksul tõusnud enam kui 1°C võrra. Soojenemine ei ole toimunud aastaringselt ühtlaselt, vaid selgelt aasta 4–5 esimese kuu arvel (joonis 1). Sealjuures on kõige suurem temperatuuri tõus olnud iseloomulik

Joonis 1.
Kuu keskmise õhutemperatuuri muutus trendi järgi Vilsandi, Võru ja Narva andmetel perioodil 1951–2000.



märtsikuule (üksikutes jaamades 3–5°C, rannikujaamades vähem, Ida-Eestis enam). Ülejäänud kuudel aastast ei saa olulisest temperatuuri muutusest rääkida.

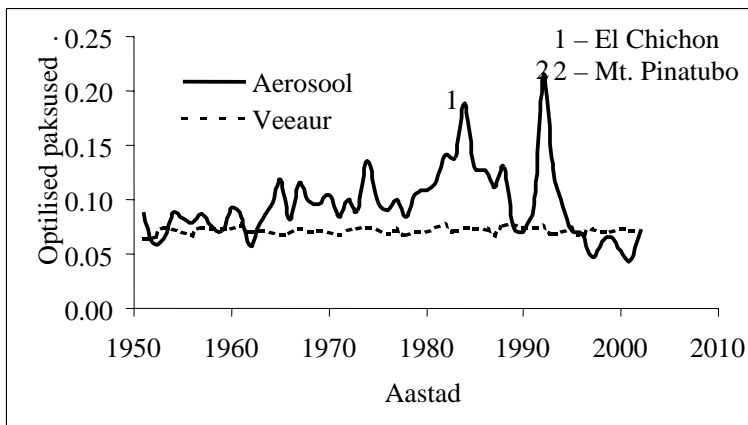
Sademete hulk muutub aastati väga suurtes piirides ja selle muutumise trende pole võimalik niivõrd kindlalt välja tuua. Siiski näitavad vaatlusandmed külma aastaaja sademete hulga suurenemise tendentsi, mis on heas kooskõlas talvede pehmene misega. Lumikatte ja jääkatte parameetrites on täheldatud statistiliselt olulist vähenemise tendentsi, mis on olnud tugevam Lääne-Eestis ja nõrgem ida pool, sealjuures Soome lahes.

Soojenemise tagajärjel on toimunud märgatavad sesoonsed nihked. Kevadtalve ehk lume sulamise perioodi algus on nihkunud samal perioodil trendi järgi enam kui kuu aega varasemaks. Ka varakevade (maapinna lõpliku lumest vabanemise päeva) algus on nihkunud ca kaks nädalat varasemaks, mis omakorda on põhjustanud taimede varasema fenoloogilise arengu kevadel.

KIIRGUSKLIMATOLOOGIA

Klimatoloogia kitsam valdkond – kiirgusklimatoloogia uurib, kui palju langeb maapinnale päike-

sekiirgust, kui palju seda sealt tagasi läheb ja kui hästi-halvasti atmosfäär mõlemad läbi laseb. Eesti kiirgusklimatoloogia kohta käiv teave on kõigile kättesaadav Viivi Russaku ja Ain Kallise hiljuti koostatud Eesti Kiirguskliima Teatmikust (2003). Maailmas on viimastel kümnenditel sageli täheldatud atmosfääri läbipaistvuse vähenemist. Aastatel 1960–1990 kahanes see jõudsalt ka Eestis, kuid pärast seda on läbipaistvus siin ja ka mujal paranenud. Selle kohta ilmus 2005. a mainekas teadusajakirjas *Science* suurt tähelepanu äratanud artikkel, mille autorite hulka kuuluvad ka nimetatud teatmiku koostajad. Atmosfääri läbipaistvust reguleerivad temas sisalduv veeaur ja aerosoolid (joonis 2). Suuremad muutused tulenevad aerosoolide sisalduse ja koostise muutumisest atmosfääris (V. Russak, H. Ohvril jt). Eriti vähenes läbipaistvus 1982. a El Chichoni ja 1991. a Mt. Pinatubo vulkaanide võimsatele pursetele järgnenud aastatel. Atmosfääri läbipaistvuse paranemisele on kindlasti kaasa aidanud senise suurtööstuse taandareng kogu Ida-Euroopas, sealhulgas ka Eestis. V. Russak osales EL kolmanda raamprogrammi projektis *Reduction of solar radiation by man-made aerosol in Europe* ja Kesk-Euroopa Ülikooli projektis *Method for atmosphe-*



Joonis 2.
Atmosfääri aerosooli ja veeauru optilise paksuse muutumine 1950–2003.

ric transparency calculations. Pilvisuse osas on kõige suuremaid muutusi täheldatud märtsikuu madalpilvisuses, mis vahemiku 1955–1995 jooksul on tuntuvalt kasvanud (S. Keevallik, V. Russak). Kiirgusele atmosfääris avaldab olulist mõju ka lumikatte varasema sulamise tendents (Heino Tooming) ja tsüklonaalse tegevuse intensiivistumisest tingitud pikemad lumevabad episoodid kesktalvel.

ATMOSFÄÄRIOSOON JA ULTRAVIOLETTKIIRGUS

Ultraviolettkiirguse uurimise ülemaailmne buum algas paar aastat pärast kevadise osooniaugu avastamist Antarktika kohal 1985. a. Eestis algasid atmosfääriosooni regulaarsed mõõtmised 1994. a ja erüteemse (naha punetust ja pruunistumist tekitava) UV kiirguse regulaarne registreerimine 1998. a algusest. Varem atmosfääri kosmosest uurimisega tegele tud töögrupp (Uno Veismann, Kalju Eerme jt) alustas uue teematikaga juba 1993. a, kuid UV sensorite muretsemiseks polnud kohe vahendeid. Senisest tegevusest leidis jätkuvat rakendust vaid aparatuuri uurimise ja energaetilise kalibratsiooni seotud.

Praegu toimub tegevus kolmel suunal – Eestis toimuvate lairiba ja kitsasriba UV mõõtmiste kva-

liteedi tagamine, ultraviolettkiirguse klimatoloogia Eestis tagasi kuni 1950. aastani ja UV spektrite regulaarne automaatne registreerimine ning analüüs. On osa võetud EL 5. raamprogrammi projektist EDUCE (*European Database for UV Climatology and Evaluation*) ja praegu osaletakse COST 726 aktsioonis *Long-term changes and climatology of UV radiation over Europe*.

UV kiirguse mõõtmisest ja tagasiulatuvast kliimaatilise rekonstrueerimisest ilmneb pikem keskmisest väiksemate suvise poolaasta dooside periood 1977–1993 ja talvise kõige pimedama 100 päeva niigi väikeste dooside kahanemine 1997. aastast alates (joonis 3). Tartu Ülikooli keskkonnanafüüsika instituudi (Ülle Kikas, Aivo Reinart) ja endise Pärnu kurortoloogia instituudi (Mai Vaht) ühisuuring maalähedase õhukihi aerosoolide mõjust UV doosidele ja UV kiirguse dooside mõjust päevitajate immuunsüsteemile leidis mõõduka päevitamise korral pigem soodsa toime. Päril viimasel ajal on UV kiirguse positiivsete efektide uurimise aktuaalsus maailmas tõusuteel.

Autor tänab mitmeid kolleege, eriti J. Jaagust ja V. Russakut, mitmete artiklis kasutatud faktiliste andmete, jooniste ja soovitude eest ning doktorant Ilmar Anskot jooniste vormistamisel osutatud abi eest.

Joonis 3.
 1.11–10.02 jook-
 sul horisontaalse-
 le pinnale lange-
 vad erütemse
 UV ja integraalse
 kiirguse doosid %
 1953–2004 kes-
 misest.

