

Yläsalamat – valon tanssia taivaalla

Kymmenen vuotta sitten tiedemaailma koki sensaation. Löydettiin salamoihin liittyvä aivan uusi ilmiö: yläsalamat. Ne ovat välähdyksiä, jotka syntyvät ukkospilvien yläpuolelle voimakkaiden salamoiden yhteydessä. Korkealla ukkospilvien yläpuolella esiintyvä ilmiö voitiin havaita vasta riittävän herkillä videolaitteilla. Sitten ilmiö on voitu varmistaa muun muassa sukkulalentojen ansiosta.

Johdanto

Mikä on luonnonilmiö? Pyörremyrsky tulee ja menee, sen vaikutukset nähdään ja koetaan, ja sen luonne osataan myös selittää tyydyttävästi. Tällainen suurimittainen, makroskooppinen tapahtuma vastaa ehkä parhaiten arkikäsitystämme luonnonilmiöstä. Toisaalta jos löydetään uusi virus, ei tapahtumaa juurikaan kuvata sanalla ”luonnonilmiö”. Voidaan sanoa, että elollinen luonto elää omaa elämäänsä ja uusien muotojen synty ikään kuin kuuluu sen luonteeseen. Lisäksi elämän perustekijät muodostavat niin monimutkaisen mikroskooppisen maailman, että uusien piirteiden tai ilmiöiden löytäminen on pikemminkin sääntö kuin poikkeus.

Eloton luonto on rakenteeltaan yksinkertaisempaa (vaikka ei yksinkertaista!) ja niin mikro- kuin makroskooppisissa mitassa sen lainalaisuudet hallitaan tarkemmin. Ja kuitenkin sekin pystyy järjestämään meille yllätyksiä. Maanjäristykset tulevat enemmän tai vähemmän odottamatta. Ilmakehän vellomiseen vaikuttavat niin monet tekijät, että sää pystytään ennustamaan vain rajoitetulla tarkkuudella ja rajoitetuksi ajaksi eteenpäin.

Kuuropilvi tai sen sähköistyneempi muoto, ukkospilvi, on hyvä esimerkki oliosta, jonka esiintymisen todennäköisyys huomenna voidaan ennustaa, mutta ei sitä mihin kohtaan se tarkkaan ottaen syntyy. Ei myöskään voida sanoa etukäteen, paljonko se salamoit ja mihin salamat iskevät. Tällainen ennustamattomuus on ehkä luonnonilmiöihin liitettävä piirre. Sala-

man esiintymistä osataan kuitenkin odottaa ja sen ominaisuudet tunnetaan suhteellisen hyvin. Kaikki salamointiin liittyvät yllätykset on voitu lukea sen ennustamattomuuden tiliin.

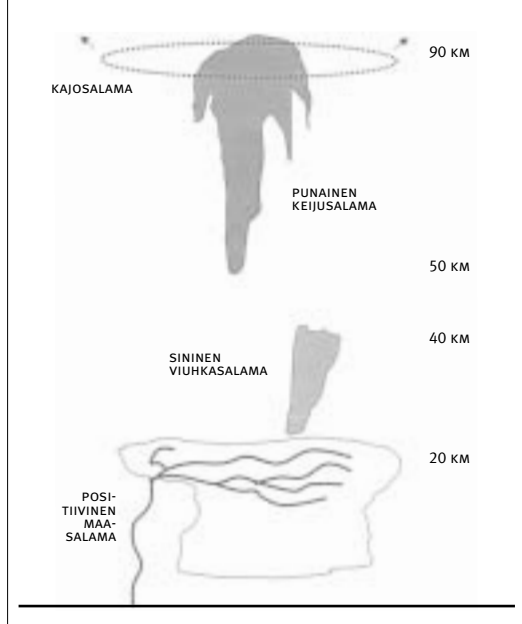
Tässä valossa tiedemaailma koki aikamoisen sensaation, kun löydettiin täysin uusi salamoihin liittyvä ilmiö, yläsalamat. Merkittävää on, että kyseessä ei ole pieni, marginaalinen uusi osapiirre, jollaisia saadaan esiin lisäämällä mitaustarkkuutta, vaan laaja-alainen tapahtuma, joka hyvissä olosuhteissa on nähtävissä myös paljain silmin.

Yläsalamat ovat välähdyksiä, jotka syntyvät ukkospilvien yläpuolelle voimakkaiden salamoiden yhteydessä. Esiintymiskorkeus ulottuu ukkospilven yläpinnalta (15–20 km) aina ionosfäärin alarajalle, 90 kilometriin.

Historiaa

Yläsalamoiden historian voi hyvin sanoa alkaneen 10 vuotta sitten (6.7.1989), jolloin niistä saatiin Yhdysvalloissa ensimmäiset videokuvat maasta käsin ja sittemmin muualtakin, muun muassa avaruussukkulasta käsin. ”Esihistoria” käsittää muutamia silminnäkijäkuvaus (varhaisin lienee vuodelta 1926), jotka jäivät kurioositeiteiksi ja herättivät hyvin vähän huomiota. Esimerkiksi U-2-lentäjä näki 1973 Tonkinin lahdella 20 kilometrin korkeudelta, kuinka voimakkaan ukkosalueen yläpuolella esiintyi korkeita pystysuoria välähdyksiä.

Vuonna 1990, kun ensimmäinen videohavainto oli julkaistu, ilmoitti muuan lentomatkustaja nähneensä Yhdysvalloissa useita pystysuoria valontuprahduksia ukkospilvien yläpuolella. Värejä ei näissä ole ilmoitettu, ja on epävarmaa, ovatko ne olleet juuri sellaisia yläsalamoita, joita tässä tullaan kuvaamaan. Sen sijaan toisessa tapauksessa lentäjä näki sinisiä hetkellisiä pystysuoria ”varsia” ukkospilven yläpuolella, jotka tuntuivat hiukan edeltävän salamaniskua. Luettelo näistä lähdevitteistä löytyy artikkelista [Sentman & Wescott \(1993\)](#).



Ilmiön varmistuttua sitä ryhdyttiin tutkimaan järjestelmällisemmin tätä varten muokatuilla herkällä videokameroilla ja muilla laitteilla sekä avaruudesta, ilmasta että maasta. Coloradosta, Kalliovuorten kupeesta on hyvä näköala itään Yhdysvaltain keskiosan ylätasangolle, jossa esiintyy runsaasti yöllisiä niin sanottuja keskikokoluokan kuurorykelmiä. Niistä on saatu runsaasti videokuvia (Lyons, 1994). Kuva-aineiston ja muiden mittaustulosten kertymisen myötä on voitu kehittää teorioita yläsalamoiden selitykseksi.

Yläsalamoiden lajit

Uusia havaintoja on nimitelty monin tavoin: "upper atmospheric optical flashes", "cloud-to-stratosphere events", "fountain-like jets", "high-altitude luminous phenomena" ja niin edelleen. Ehkä luontevin ja vakiintunein nimitys on nykyään "high-altitude lightning", ja suomalaiseksi termiksi olen ehdottanut "yläsalamat". Nimi on suppea ja voi siksi sisältää väärinkäsityksenkin mahdollisuuden, mutta voidaan todeta: nimi on vain nimi eikä mikään määritelmä; nimeen voidaan sitten liittää määritelmä siitä, mitä se tarkoittaa.

Yläsalamoiden tutkimusalueeseen lasketaan nykyään kuuluvaksi neljänlaisia ilmiöitä. Seuraavassa luettelossa ovat ehdottamani suomalaiset nimitykset ja suluissa vakiintuneimmat englanninkieliset nimitykset:

- keijusalama (sprite) tai punainen keijusalama (red sprite)
- kajosalama (elf)
- viuhkasalama tai sininen viuhkasalama (blue jet)
- gammapurkaus (gamma-ray burst)

TAVALLISTA VOIMAKKAAMPI POSITIIVINEN MAASALAMA AIHEUTTAA JYRKÄN VARAUSMUUTOKSEN PILVEN YLÄOSASSA, JOLLOIN SÄHKÖKENTTÄ VOI SYNNYTTÄÄ MESOSFÄÄRISSÄ PURKAUKSEN. SE NÄKYYPÄ PUNAISENA, YHTENÄ TAI USEAMPANA KEIJUSALAMANA. TÄHÄN LIITTYY MYÖS LAAJENEVAN RENKAAN MUOTOINEN KAJOSALAMA, JOKA VOI ESIINTYÄ KEIJUSALAMAN YHTEYDESSÄ TAI ERIKSEEN. PELKKÄ SUURI VARAUS SINÄNSÄ PILVEN YLÄOSASSA VOI PURKAUTUA YLÖSPÄIN SINISENÄ VIUHKASALAMANA.

Viimeksi mainittua voitaisiin nimittää myös gammasalamaksi, mutta kyse ei ole näkyvän valon ilmiöstä. Luettelon ilmiöt on annettu tärkeysjärjestyksessä siinä mielessä, että keijusalamoi- ta on havaittu eniten ja niiden selityksessä ollaan pisimmällä. Vaikka "elf" käännettäisiin suomeksi lähinnä "keijukainen", minusta valitsemani nimitykset vastaavat paremmin ilmiöiden herättämää mielikuvaa.

Yläsalamoita nähdään vain yöllä, koska niiden heikko valo ei erotu päivällä. Kun opitaan tuntemaan tarkasti myös muu niihin liittyvä säteily (esim. radioaallot), voitaneen sitä mittaamalla tutkia tulevaisuudessa myös päiväaikaista yläsalamoita.

Maa- ja pilvisalamat

Koska yläsalamoiden synty liittyy kiinteästi taivasmaisten salamoiden esiintymiseen, on syytä luoda ensin katsaus näihin. Ukkospilveä voidaan karkeasti ottaen pitää kaksinapaisena sähkövarausjakautumana (dipolina), jossa negatiivinen varauskeskus on keskivaiheilla viiden kilometrin korkeudella (alueessa, jossa rakeet syntyvät) ja positiivinen varaus on yläosassa 8–10 kilometrin korkeudella (ns. alasimessa, joka koostuu pienistä jääkiteistä).

Ukkospilvi koostuu yhdestä tai useammasta vierekkäisestä konvektiosolusta. Konvektio tarkoittaa pystyvirtausta, jossa lämmin kostea ilma nousee ylös solun keskellä ja vajoaa viilenneenä alas reunoilla. Yksittäisen solun halkaisija on kilometrien luokkaa, suuren rykelmän kymmeniä kilometrejä.

Kun pilven varautuminen (johon tässä ei puututa) on edennyt tarpeeksi pitkälle, varauskeskusten jännite toistensa tai maan suhteen purkautuu salamoina. Tavallisin purkaus on pilvisalama, joka synnyttää kummastakin päästä haaroituvan purkaukskanavan varausalueiden välille.

Haarojen säikeet saattavat ulottua vaakasuorassa suunnassa laajalle, varsinkin jos purkaus ulottuu rykelmässä monen solun alalle; voidaan puhua hämähäkkipurkauksesta. Pilvisalamassa kulkeva sähkövirta ei yleensä ole kovin voimakas, vaan koostuu useista peräkkäisistä heikohkoista pulsseista. Laaja-alaisessa hämähäkkisalamassa tosin kokonaisvirta voi kasvaa suureksi.

Maasalamoista tavallisempi on negatiivinen salama, joka alkaa pilven alaosaan esisalamalla: tämä etenee negatiivisena askeltavana purkauksena maata kohti ja toisaalta positiivisena purkauksena kohti negatiivista varauskeskusta.

Loppuvaiheessa maasta nousee niin sanottu vastasalama, joka tavoittaa esisalaman kärjen ja täydentää pilven varauskeskuksen ja maan välisen kanavan. Välittömästi tämän jälkeen maasta ylöspäin etenee nopea, kirkas ja voimakas pääsalama. Tätä ensimmäistä esisalama-pääsalamaparia eli iskua voi seurata useampikin isku, jos kanavan yläpää löytyy pilvestä ajoissa uutta varausta. Iskujen välissä esiintyy kanavassa usein niin sanottua jatkuvaa virtaa, joka lisää pilvestä maahan siirtyvän varauksen määrää. Negatiivisen pääsalaman tyypillinen virtahuippu on 10–20 kA (kiloampeeria).

Positiivinen maasalama alkaa yleensä pilven yläosasta. Sen esisalama on ”tehokkaampi” kuin negatiivisen salaman ja etenee nopeasti maahan; pääsalama on puolestaan hitaampi mutta välittää suuremman varauksen. Iskua positiivisessa salamassa on harvoin enemmän kuin yksi, mutta jatkuvaa virtaa voi olla. Kaiken kaikkiaan positiiviset salamat sisältävät enemmän voimakkaita purkauksia kuin negatiiviset. Positiivisten salamoiden osuus on Suomessa noin 15 prosenttia maasalamoista ja tropiikin ukkosissa paljon pienempi.

Pilven ja maan välillä näkyvä viivasalama on maasalaman purkauskanavasta vain pieni osa. Siihen liittyy runsas, voimakkaasti haaroittuva, laajalle vaakasuoraan ulottuva purkaussäikeiden verkko. Siitä riippuu, paljonko maasalama lopulta saa kerätyksi puhia iskuihinsa.

Keijusalama

Keijusalama on yläsalamoista näyttävin ja väriltään punainen. Se muodostaa kymmenisen kilometriä leveän valopatsaan 50 ja 90 kilometrien korkeuksien välille; tätä ilmakehän kerrosta sanotaan mesosfääriksi. Valopatsas jakautuu toisinaan pystysuunnassa kolmeen osaan, joita voisi nimittää keijun tukaksi, pääksi ja (ylä)vartaloksi. Patsaan sivuille syntyy alaspäin eteneviä säikeitä

tai kärhiä. Keijusalamoita voi syntyä peräkkäin useamman ryhmässä, jolloin vaikutelma ”keijujen karkelosta” on voimakas, ja näytelmää saattavat komistaa vielä pilvirykelmän pinnalla luiker-televat hämähäkkipurkaukset.

Keijusalamoille otollisia tilanteita näyttää syntyvän keskikoon kuurorykelmiin, joita esiintyy runsaasti ainakin Yhdysvaltain sisämaassa. Esiintymiskohdassa usein maasalamoiden määrä on tavallista vähäisempi ja positiivisten osuus tavallista suurempi; tällainen tilanne painottuu ukonilman kehityskaaren loppupuolelle. Erään mallin mukaan (Yukhimuk ym., 1999) positiivista pääsalamaa seuraa 10–30 millisekunnin (ms) kuluttua lyhyt valonvälähdys ja sitten 50 millisekunnin verran tasaisempaa valoa. Koko kesto on siis alle 0.1 sekuntia.

Keijusalaman syntyä selitetään sillä, että positiivinen salama muuttaa nopeasti ja jyrkästi pilven yläosan sähkövarausta, joka merkitsee sitä, että pilven yläpuolisessa sähkökentässä tapahtuu vastaava muutos. Muutoksen pitää tapahtua laajalla vaakasuoralla alueella, jolloin kenttä voi tihtyä mesosfääriä tarpeeksi paikalliseksi. Eräs tutkimus (Valdivia, 1998) selittää, että salamakanava kaikkine haaroineen ja säikeineen muodostaa niin sanotun fraktaalisen antennin, joka kohdistaa kentän tehokkaasti. Sähkökenttä kiihdyttää mesosfääriin ilmassa olevat vapaat elektronit (joita siellä kosmisen säteilyn takia syntyy koko ajan); nämä törmäävät typpimolekyyleihin, joiden viritystila sitten purkautuu punaisena valona.

Mainittu tutkimus selittää fraktaalisuuden perusteella myös keijujen säierakenteen. Samaa valoa esiintyy tavallista matalammissa revontulissa, joiden virityshiukkaset tulevat ylhäältä päin (magnetosfääristä). Teoriat sisältävät myös laskelmia siitä, miten molekyylin virittyminen riippuu esimerkiksi korkeudesta.

Eräessä tutkimuksessa (Reising ym., 1996) havaittiin Etelämantereella matalataajuisia radioaaltoja, jotka saapuivat 12 000 kilometrin päästä Yhdysvalloista. Jos positiivisen pääsalaman pulsia seurasi muutaman millisekunnin ajan hitaasti vaihteleva aalto, tämä ”häntä” oli peräisin jatkuvasta virrasta. Tällaisia tapauksia vastasi usein Yhdysvalloissa samanaikaisesti havaittu keijusalama.

Kajosalama

Kajosalama on vaakasuunnassa laaja (200 km), himmeä valorengas keijusalama-alueen yläpuolella (80–100 km). Se esiintyy, jos esiintyy, va-

jaan millisekunnin kuluttua voimakkaasta, useimmiten positiivisesta maasalamaasta. Keijusalama ilmaantuu, jos ilmaantuu, vasta useamman millisekunnin kuluttua. Ne eivät siis esiinny välttämättä aina yhdessä.

Kajosalaman synty selitetään niin, että salama synnyttää paitsi edellä mainitun ”staattisen” sähkökentän muutoksen, myös suurtaajuista sähkömagneettista säteilyä (radioaaltoja). Se ei kohdistu kapealle alueelle kuten sähkökenttä, vaan etenee palloaaltona.

Jos säteilypulssi on tarpeeksi voimakas, se synnyttää valoa tietyllä korkeudella, mikä nähdään sivulle laajenevana valorenkaana tietyllä korkeudella. Korkeuteen vaikuttaa ilman tiheys: alempana, liian tiheässä ilmassa, molekyylien viritystila sammuu törmäyksissä ennen kuin se ehtii purkautua valona.

Viuhkasalama

Suuressa (monisolu-)ukkospilvessä voi huippuun liki 20 kilometrin korkeudelle kertyvän – runsaan positiivisen – varauksen sähkökenttä lisätä merkittävästi ionisaatiota 100–1000 metriä leveällä alueella (siellä on ennestään jo kosmisen säteilyn ionisaatiota). Kun varaus on kasvanut tarpeeksi suureksi, ionisaatio on siemenenä ylös suuntautuvalla positiiviselle soihdumpurkaukselle. Se ei siis edellytä äkillistä varauksen muutosta kuten salamaa, vaan itse purkaus muistuttaa esisalamaa tai pilvisalamaa.

Koska ilman sähköjohtavuus kuitenkin kasvaa jyrkästi pilven yläpuolella, purkauksen ei tarvitse raivata itselleen kapeata kanavaa kuten pilvi- tai maasalama, vaan se leviää ylös vapaammin. 40 kilometrin korkeudessa ympäröivän ilman johtavuus on jo samaa luokkaa kuin itse purkauksessa ja purkaus hajoaa olemattomiin. Sininen väri tulee myös typpimolekyylistä, sen toisesta viritystilasta.

Gammapurkaus

Gammapurkaus on toistaiseksi kaikkein arvoituksellisin yläsalamailmiöistä. Koska ilmakehän alaosa ei läpäise gammasäteilyä, sen kaukohavainnointi on mahdollista vain avaruudesta. Gammapurkauksia on havaittu ukonilmojen suunnalta satelliitissa olevalla mittarilla. Niissä on kyse hyvin suurista energioista, ja ilmiö on toistaiseksi kiistanalainen.

Esiintyminen

Yläsalamoita, lähinnä keijusalamoita, on havaittu paitsi Yhdysvalloissa myös muualla maapallolla. Kuten edellä todettiin, edellytyksenä on laaja-alainen ukkonen, jossa syntyy myös positiivisia salamoita. Havaintoja on tehty ainakin Etelä-Amerikasta, Afrikasta, Australiasta ja Kaakkois-Aasiasta.

Havaitseminen on hankalaa, joten ei ole pois suljettua, että niitä voisi esiintyä myös Euroopassa, ehkä jopa Suomessa. Meillä on toisinaan jyllännyt laaja-alaisia, erittäin voimakkaita ukkosia, mutta valitettavasti avaruussukkula ei ole silloin sattunut lentämään täällä päin...

Lopuksi

On kiinnostavaa verrata yläsalamoita toiseen outoon ilmasähköilmiöön, pallosalamaan. Yläsalamat ovat kauan pysyneet lähes kokonaan havaintojen ulottumattomissa ja olleet hyvin UFOmaisia ilmiöitä. Nyt kuitenkin niitä on pystytty havaitsemaan ja mittaamaan säännöllisesti, ja järkevä teorianmuodostus on edennyt hyvin erityisesti keijusalamoiden osalta. Pallosalamasta puolestaan on kauan saatu runsaasti silminnäkijähavaintoja, mutta niistä saatavat mittaukset ovat edelleen kiven alla.

Koska pallosalaman mittakaava (metrejä) on paljon pienempi kuin yläsalamoiden (kymmeniä kilometrejä), se on voitava tuottaa keinotekoisesti laboratorioissa ennemmin tai myöhemmin, jos se on fyysikaalinen ilmiö; muuten ei teorioita voi testata. Toistaiseksi joudumme odottelemaan. ■

Lähdeviitteet ja muuta luettavaa

- Davidson: New Scientist, 19 August 1995
Lyons (1994): Geophysical Research Letters, Vol. 21, No. 10, p. 875.
Mende ym.: Scientific American, August 1997.
Reising ym. (1996): Geophysical Research Letters, Vol. 23, No. 24, p. 3639.
Sentman & Wescott (1993): Geophysical Research Letters, Vol. 20, No. 24, p. 2857.
Valdivia (1998): Internet

<http://roselott.gsfc.nasa.gov/valdivia/thesis/>

Yukhimuk ym. (1999): 11th International Conference on Atmospheric Electricity.

KIRJOITTAJA ON ILMATIETEEN LAITOKSEN
TUTKIMUSPÄÄLLIKKÖ. HÄN ESITELMÖI AIHEESTA
SKEPSIKSEN YLEISÖTILAISUUDESSA HELSINGISSÄ
15. SYYSKUUTA.