

Kuuluvuuteen vaikuttavat tekijät

Jyrki K. Talvitie

Mikäli radioaseman etäisyys kuuntelijastaan olisi ainoa aseman kuuluvuuteen vaikuttava tekijä, olisi aseman kuuluumahdollisuuden (ja samalla sen kuulemisen saaman arvostuksen) ennalta-arviointi erittäin helppoa. DX-uran alkuvaiheissa kuunneltavan aseman kaukaisuudella on epäilemättä vielä oma arvonsa. Mutta harhakuvat karisevat viimeistään siinä vaiheessa, kun kuulee maapallon toisella puolella sijaitsevan Radio Australian, ja aikanaan toteaa sen olevan kansainvälisen lyhytaaltoalueen tavallisimpia asemia. Sen jälkeenhän ei kaukaisuuden alalla enää juuri ole saavutettavaa.

Kuuntelukokemuksien karttuessa kuuluvuudesta tehdyt havainnot voivat saattaa toiveikkaan DX-kuuntelijan alun aivan ymmälle. Miksi tuo asema A kuuluu niin huonosti, vaikka paljon kaukaisempi asema B kuuluu jatkuvasti hyvin? Miksi MINÄ en kuullut tuota asemaa, vaikka toverini kuuli sen aivan samaan aikaan hienosti? Aloittelijasta kuuluvuuden näennäiset ristiriitaisuudet tuntuvat hämmentäviltä, mutta DX-kokemuksen karttuessa alkaa kiinnittää huomiota ainakin joihinkin lainalaisuuksiin. Toi-

saalta on varmasti monia, jotka eivät milloinkaan ole vaivanneet päätään sillä, mitkä tekijät jonkin tietyn aseman kuuluvuuteen vaikuttavat. Kysymyshän ei ole luonteeltaan vain akateemista mielenkiintoa omaava, vaan sillä on mitä suurin käytännön merkitys. Onhan toki merkityksellistä pystyä arvioimaan jonkin asemaharvinaisuuden kuulumismahdollisuus sekä se, mitä itse pystyy tekemään ko. aseman kuuluvuuden parantamiseksi.

Tarkasteltaessa radioaseman kuuluvuuteen vaikuttavia tekijöitä on otettava huomioon ominaisuudet yhteysvälin kolmella eri osalla: radioasemalla, vastaanotto paikalla ja niiden välisessä tilassa. Kun ionosfäärin ja troposfäärin ominaisuuksien vaihteluja ja vaikutuksia kuuluvuuteen on käsitelty yksityiskohtaisesti tämän kirjan luvuissa "Radioaaltojen eteneminen", "Keliön säännölliset vaihtelut" ja "Televisio-DX", käsitellään tässä vain radioaseman ja vastaanotto paikan ominaisuuksien vaikutusta kuuluvuuden muodostumiseen. Nämä ominaisuudet voidaan lisäksi jakaa kahteen ryhmään, sen perusteella, ovatko ne muuttumattomia vai muuttuvia. Radioaseman kohdalla tämä kytkeytyy läheisesti sen

toiminnan luonteeseen eli siihen, onko asema kotimaan- vaiko ulkomaanasema.

Radioaseman ominaisuudet

Osan radioasemaa koskevista tiedoista saa World Radio TV Handbooken, osan voi päätellä karttaa katsomalla, osan voi löytää DX-lehden asemaesittelyistä ja osan voi selvittää kysymällä asemalta.

Maantieteellinen etäisyys merkitsee vain tiettyä perusasetelmaa, jonka merkitystä ei pidä liioitella. Käytännössä radioaseman etäisyydellä kuuntelijasta ei ole suurta merkitystä, koska kuuluminen kuitenkin on ratkaisevasti riippuvainen muista tekijöistä jopa siinä määrin, että vain yksi epäsuotuisa ominaisuus riittää tekemään aseman kuulumattomaksi. Niin yllättävältä kuin saattaa kuullostaa, voi päinvastoin aseman sijainti liian lähellä olla esteenä sen kuulumiselle. Esimerkiksi Porin lyhytaaltoasema ei kuulu monin paikoin Suomessa juuri ollenkaan, koska pientehoisen lähettimen pinta-aalto ei yllä kauas ja avaruusaalto heijastuu yli. Keskiaalloilla taas juuri pinta-aalto on tarkoitettu pääkuuluvuusalueelle, mutta sielläkin jää pinta-aallon ja avaruusaallon väliin ionosfäärin ominaisuuksien määräämä katvealue.

Topografia. Toinen puhtaasti maantieteellinen ominaisuus on sijaintialueen topografia. Pinnanmuodostuksen huomioon ottamalla voidaan aikaansaada niin suotuisia kuin vahingollisia ominaisuuksia riippuen siitä, miltä ilmansuunnalta asiaa tarkastellaan. Sijaintia rannikolla pidetään radioaaltojen etenemisen kannalta yleensä edullisena, ja niinpä mantereen sisäosien asemat yleensä ovat arvostetumpia kuuntelusaavutuksia kuin rannikon asemat. Tosin tähän vaikuttaa

myös se, että rannikolla yleensä on tiheämmän asutuksen myötä useampia yleisradioasemia, ja sisämaan asemat saavat jo pienemmän lukumääränsä vuoksi osakseen suurempaa arvostusta. Tämä karkea yleispiirre ei kuitenkaan toteudu silloin, kun radioasema sijaitsee korkealla vuoristossa, kuten esimerkiksi HCJB:n kuuluvuudesta voimme havaita. Lisäksi on otettava huomioon satunnaiset tekijät kuten lähellä sijaitseva korkea vuoristo, joka muodostaa radioaaltojen etenemiselle johonkin ilmansuuntaan esteen.

Radioaaltojen etenemissuunta. Edellä tarkastellut kaksi ominaisuutta on katsottava käytännössä muuttumattomiksi, ja jo ne säätelevät radioaseman kuuluvuutta jonkin verran. Niihin liittyen on mainittava sellainenkin seikka kuin aseman suunta kuuntelijaan nähden, sillä radioaaltojen etenemissuunnan ja maan magneettikentän välisellä kulmalla on merkitystä. Pohjois-etelä-suuntainen eteneminen poikkeaa melko paljon itä-länsi-suuntaisesta.

Muut yleisradioaseman kuuluvuuteen vaikuttavat ominaisuudet ovat periaatteessa muuttuvia tai ainakin muuttettavia. Yleisesti ottaen voidaan sanoa ulkomaanohjelmia lähettävien asemien muuttavan kuuluvuuteen vaikuttavia tekijöitään kohdealueen tarpeiden mukaisesti. Sen sijaan kotimaanohjelmia lähettävä asema ei näitä ominaisuuksiaan muuta ainakaan ulkomaisten kuuntelijoiden tarpeiden vuoksi, vaan muutokset tapahtuvat vain kotimaan tarpeita silmälläpitäen, ja siksi muutokset kotimaanasemissa voivat meidän näkökulmastamme katsoen tapahtua yhtä hyvin epäsuotuisaan kuin suotuisaan suuntaan.

Radioaseman käyttämä taajuus on erittäin merkityksellinen. Ensinnäkin se seikka, toimiiko asema taajuusalueen ylä- vaiko alapäässä, säätelee tunnustavasti sitä, missä määrin ja kuinka

kuuluvuus riippuu ionosfääriin kulloistakin ominaisuuksista. Tällöin mää-
räytyy se, mihin vuoden ja vuorokau-
denaikaan aseman kuulumiselle on
yleensä edellytyksiä. Tätä asiaa selvi-
tellään tarkemmin luvuissa "Radio-
aaltojen eteneminen" ja "Kelien sään-
nölliset vaihtelut". Lähetystaajuuden
valinnalla on suuri merkitys senkin
vuoksi, että se määrää aseman suh-
teen muihin asemiin vastaanottoaikan
olosuhteissa. Huonosti valittu taajuus
voi tehdä tyhjäksi kaikki muut pon-
nistelut hyvän kuuluvuuden takaami-
seksi kohdealueella. Samalla tai aivan
lähitaajuudella toimiva megavattilähe-
tin riittää pilaamaan kuuluvuuden,
ellei aseman oma lähetin sitten ole
saman tehoinen. Se, kuinka pysyvä
tällainen "sortokausi" on, riippuu pal-
jon siitä, toimiiko asema lyhytaalloilla
kansainvälisellä vaiko troppiikkialueella
vai toimiiko se keskiaalloilla. Kansain-
välisillä kaistoilla tapahtuu muutoksia
siinä määrin usein (kts. "Taajuuden
rekisteröiminen", s. 13), että kuu-
lumattomuuden ei välttämättä aina
tarvitse olla kuin tilapäistä. Käytän-
nössä on taajuuksien valinta lyhyt-
aalloilla vapaata, ja siksi pieniä taa-
juudenkorjauksia voidaan tehdä jous-
tavasti. Keskiaalloilla sen sijaan on
taajuuksien jako paremmin kontrolloi-
tua, mikä tekee taajuuksien muutok-
set hieman mutkikkaammiksi. Muu-
tenkin on muista asemista johtuva häi-
riötila keskiaalloilla paljon pysyvämpi,
joten suomalaisen kuuntelijan kannal-
ta aseman epäsuotuisalla taajuuden-
valinnalla on yleensä hyvin pitkäai-
kainen, pysyvän luonteinen vaikutus.
Eurooppalaiset asemat, jotka hallitse-
vat keskiaaltoaluetta meillä, tekevät
tietyt taajuudet lähetyksensä ajaksi täy-
sin käyttökelttomiksi DX-tarkoituk-
siin. Huono taajuudenvalinta saattaa
viedä DX-aseman tällaisen taajuutta
hallitsevan eurooppalaisen alle, ja sil-

loin kuuntelu on käytännössä mahdo-
tonta siitä riippumatta, antaisivatko
aseman muut ominaisuudet mahdolli-
suuden kuunteluun.

Lähetysaika. Kuten radioaaltojen
etenemistä käsittelevästä luvusta käy
ilmi, antavat ionosfääriin fysikaaliset
ominaisuudet radioaaltojen etenemi-
selle edellytykset vain tiettyinä vuoden-
ja vuorokaudenaikoina. Koska koti-
maanasemien lähetysaika ottaa huo-
mioon vain kotimaisen kuuntelijakun-
nan tarpeet, käy useinkin niin, että
radioasema ei ollenkaan lähetä siihen
aikaan, jolloin sitä olisi mahdollisuus
kuunnella Suomessa. Tällöin ainoaksi
mahdollisuudeksi jää pitää silmällä sel-
laisia poikkeustilanteita, joita esitel-
lään tämän luvun kappaleessa "Poik-
keamat lähetysajoissa". Ulkomaanoh-
jelmia lähettävät asemat pyrkivät ajoit-
tamaan lähetyksensä siten, että ne ovat
kohdealueella kuultavissa juuri par-
haaseen kuuntelu aikaan eli illalla, jo-
ten niiden kohdalla esiintyy harvem-
min lähetysajasta johtuvia hankaluuk-
sia. On myös monia sellaisia kotimaan-
asemia, jotka lähettävät 24 tuntia vuo-
rokaudessa.

Edellä esitettyjen tekijöiden lisä-
ksi on käsittelemättä enää radioaseman
teknisten laitteiden osuus kuuluvuu-
den muodostumisesta. Lähetin ja an-
tenni ovat toki tärkeitä kuuluvuu-
den kannalta, mutta on selvää, että
jo edellä olevat tekijät määrittele-
vät varsin pitkälle ne puitteet, joissa
lähettimen ja antennin suorituskyky
voidaan käyttää hyväksi.

*Lähettimen teho ja antennin säteily-
kuvio.* Kuuluvuuden kannalta tärkeitä
tekijöitä ovat lähettimen teho ja an-
tennin säteilykuvio. Jo edellä on käy-
nnyt ilmi, ettei jonkin tietyn aseman
kuulumismahdollisuuksia voi ennakoi-
da yksinomaan sen etäisyyden perus-
teella. Mutta ei paljon pitemmälle
päästä ottamalla lähetysteho huomi-

oon, sillä lähetin ja antenni muodostavat kokonaisuuden, jossa molemmilla on oma tärkeä tehtävänsä. On hyvinkin suuri ero sillä, syötetäänkö lähetimen teho ympärisäteilevään antenniin vaiko tehokkaaseen suunta-antenniin. Ulkomaanohjelmia lähettävät asemat yleensä käyttävät suunta-antenneja, jotka parantavat kuuluvuuden edellytyksiä kohdealueella. Kotimaanasemilla on hyvin usein ympärisäteilevä antenni, jolloin esim. WRTH:ssa esitettyjen lähetintehojen vertailu ei varmastikaan anna oikeata kuvaa kuuluvuuksien keskinäisestä suhteesta. Milloin asema ei käytä ympärisäteilevää antennia, on aina kuitenkin mahdollista, että maksimisäteilyn suunta sattuu olemaan meille päin. Lisäksi on aina otettava huomioon se mahdollisuus, että uusia lähettimiä hankitaan, tehoja korotetaan, antennia muutellaan ja parannellaan jne. Asemaluetteloiden tiedot voivat olla juuri sen verran vanhentuneita, että niihin sokeasti uskomalla tulee aliarvioineeksi kuuluumahdollisuuksia.

Vastaanottoaikan ominaisuudet

Tarkasteltaessa kuuluvuuden muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä kuuntelijan puoleisessa päässä yhteysväliä todetaan, että myös täällä vaikuttavat osittain samat tekijät kuin radioaseman puoleisessa päässä.

Topografia. Vastaanottoaikan lähiympäristön pinnanmuodostuksella on jälleen merkitystä tietyissä tapauksissa. Lähellä sijaitseva korkea kallio saattaa huomattavasti vaimentaa siitä suunnasta tulevia signaaleja. Vastavasti sijainti meren tai muun vesistön rannalla on taas edullista.

Maantieteellinen sijainti. Kokemusperäisesti on voitu havaita, että Länsi-Suomessa kuullaan keskimääräistä paremmin jenkkejä ja lattareita, kun taas

idempänä paranevat Idän asemien kuuntelumahdollisuudet. Pohjoiseen päin mentäessä paranevat jenkkien kuuntelumahdollisuudet niin, että Pohjois-Suomessa on huomattavasti helpompaa kuulla jenkkejä (etenkin länsirannikon ja Alaskan) kuin Etelä-Suomessa. Samoin on tätä kirjoitettaessa Oulu vielä ainoa paikkakunta, jolla on kuultu australialaisia keskiaaltoasemia Suomessa. Pohjoisessa paranevat edellytykset myös lyhytaalto-oseaniaisten kuuntelulle etelään verrattuna.

Pienenä yksityiskohtana mainittakoon vielä lähiseudun magneettisten malmioiden vaikutus radioaaltojen etenemiseen.

Myös antipodi-ilmiö on maantieteelliseen sijaintiin liittyvä tekijä. Sillä tarkoitetaan täsmälleen maapallon vastakkaiselta puolelta tulevien signaalien normaalia parempaa kuuluvuutta. Asia voidaan ymmärtää siten, että tällöin suuntakäsite menettää merkityksensä, jolloin periaatteessa kaikki signaalit kuitenkin "osuvat" lähetyspaikan antipodiin edellyttäen, että etenemiset vaativat fyysiset olosuhteet ovat joka puolella olemassa. Tilanne on aivan sama kuin Pohjoisnavalla, josta katsoen kaikki suunnat ovat etelään eli Pohjoisnavan antipodille Etelänavalle.

Antennin säteilykuvio ja mitoitus. Kuuntelijoiden väliset erot kuuluvuudessa syntyvät usein antenneissa olevien erojen vaikutuksesta. Aivan kuten radioaseman puoleisessa päässä on kuuntelijan antennin suuntauksella merkitystä. Ei ole ollenkaan samantekevää, kuunteleeko ympärisäteilevän vaiko suunta-antennin avulla. Oikein suunnatulla suunta-antennilla voidaan huomattavasti parantaa jonkin tietyn aseman kuulumisen edellytyksiä, jolloin vastaavasti muissa suunnissa taaphtuu vaimenemista. DX-kuuntelijan kohdalla pulmaksi muodostuukin se, ettei ole mielekästä käyttää suunta-

antennia, ellei ole erikoistunut jonkin suppean alueen asemiin, koska suunta-antenneista voi muutoin olla jopa suoranaista haittaa. Ympärisäteilevä antenni on ehdottomasti mielekkäämpi aloittelijalle, joka vasta tutustuu radion kiehtovaan maailmaan eikä vielä ole uppoutunut DX-kuuntelun minikään erikoisalan harrastamiseen. Lisäksi on huomattava, että tehokkaiden suunta-antennien pituus on kriittinen, ts. ne toimivat tarkoitettulla tavalla vain suhteellisen kapealla taajuuskais-talla. Tässä tullaan jälleen siihen, että suunta-antennin rakentaminen on mielekäästä vasta silloin, kun oma erikoisala — sekä suunta että taajuuskaista — jo on selvillä ja vakiintunut. Mikäli kuitenkin on mahdollisuuksia rakentaa useampia kuin yksi antenni, silloin on toki mielekäästä rakentaa suosikkibandille mitoitettu suunta-antenni ympärisäteilevän ”perusantennin” lisäksi.

Kehäantennin eli loopin käyttö keskiaaltokuuntelussa on usein suositeltavaa. Ei niinkään tehonlisän tavoittelemiseksi, vaan suunta-antenniin aina sisältyvän ominaisuuden, vaimentavan suunnan, hyväksikäyttämiseksi. Loopia kääntämällä etsitään sellainen kohta, jossa häiritsevä asema joko huomattavasti vaimenee tai parhaassa ta-

pauksessa häipyä kokonaan. Mikäli halutun ja häiritsevän aseman suuntien välinen kulma on riittävän suuri, on tällä tavoin aikaansaatu halutun aseman voimakkuuden lisääntyminen häiritsevän aseman suhteen.

Vastaanotin. Vastaanottimen ominaisuuksilla on melkoista merkitystä DX-kuuntelun tehostamisessa, ja vastaanottimien väliset erot näkyvät etenkin epäedullisissa kuunteluolosuhteissa. Koska vastaanottimien ominaisuuksia on käsitelty perusteellisesti toisaalla tässä kirjassa, riittänee tässä viittaus näihin lukuihin.

DX-kokemus. Niin yllättävältä kuin saattaa kuulostaakin, on kuuntelijan omalla kokemuksella hyvin suuri vaikutus siihen, mitä vastaanottimella saa aikaan. Kokemuksen perusteella saa yleensä jo hyvän sormituntuman siihen, mitä asemia voi olettaa kuuluvan milloinkin. Eniten kokemus kuitenkin merkitsee halutun aseman etsimisessä ja tunnistamisessa. Niinpä juuri DX-kokemuksen määrä ehkä useimmin aiheuttaa kuuluvuuseroja kahden näennäisesti samoin varustautuneen kuuntelijan välillä. DX-kokemusta voi hankkia tiiviillä kerholehden lukemisella, tämän kirjan opiskelulla, kokeneiden DX-kuuntelijoiden opastuksella ja ennen muuta kuuntelemalla ahkerasti.

Radioaaltojen eteneminen

Sven-Erik Hjelt

Etenemisen perusteet

Radioaaltojen etenemisessä on kysymys energian siirtymisestä paikasta toiseen sähkömagneettisena värähtelynä. Värähtelyn syntymistä, etenemistä ja vastaanottoa hallitsevat kaksi peruslakia: sähköinen varaus liikkuessaan synnyttää sähkömagneettisen kentän, jollainen kenttä toisaalta pyrkii saamaan varaukset liikkeeseen.

Radioaseman laitteistot muuntavat mikrofoneihin tulevan tai magneettinauhoille taltioidun äänen sähköisiksi värähtelyiksi, signaaleiksi, jotka syötetään edelleen lähetinantenniin. Tämä syöttö saa antennin varaukset, vapaat elektronit, liikkeeseen — antennissa kulkee virta. Virta on ajallisesti suuruudeltaan vaihteleva, ja se muuttaa kulkusuuntaansa lähettimen taajuuden määräämällä nopeudella. Antennin muodosta sekä sijainnista ympäristöön nähden riippuu minkälainen on virran hetkellinen jakautuma antennilaitteistossa. Kulkeva virta synnyttää ympäristöön sähkömagneettisen kentän, aallon, jonka jakautuma riippuu virran jakautumasta ja jonka ajallinen vaihtelu seuraa virran vaihtelua. Aalto, jossa on toisiaan vastaan kohtisuorissa tasoissa erikseen sähköinen ja magneettinen kenttä, etenee antennista pois päin valon nopeudella. Virran ja-

kautuma ja sitä edustava antennin säteilykuvio kertovat, kuinka suuri osa antennissa olevasta energiasta säteilee mihinkin suuntaan. Kentän vaihtelua yhdessä pisteessä voidaan kuvata nuolella, joka ajan mukana muuttaa sekä suuntaansa että suuruuttansa. Riippuen siitä, piirtääkö tämän nuolen pään suoran, ympyrän tai ellipsin muotoisen kuvion, puhutaan vastaavan kentän (tai aallon) *polarisaatiosta*.

Syntynyt kenttä, joka siis vaihtelee ajallisesti, etenee aaltona ympäröivään avaruuteen ja jakautuessaan yhä suuremmalle alueelle luonnollisesti heikkenee. Kentän voimakkuus, jota mitataan yksiköllä voltti/metri (V/m), pienenee kääntäen verrannollisena etäisyyteen lähettimestä.

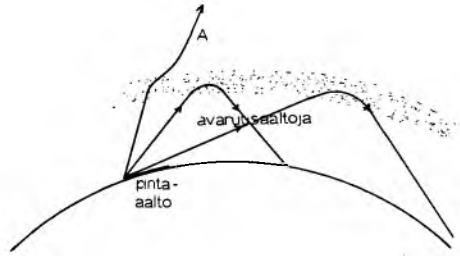
Maan pintaa pitkin etenevää osaa säteilystä kutsutaan *pinta-aalloksi*. Maaperän sähköisistä ominaisuuksista riippuu ensisijaisesti, kuinka kauaksi säteily etenee niin voimakkaana, että se voidaan havaita ja vastaanottaa. Pinta-aallon etenemisessä on kysymys satojen kilometrien etäisyyksistä, välimatka pienenee taajuuden kasvaessa.

Suurin osa lähetinantennin synnyttämästä säteilystä kuitenkin ohjautuu ylöspäin. Radioaaltojen etenemisen kannalta keskeinen merkitys on ilmakehän ylemmillä kerroksilla, 60 km:n korkeudesta ylöspäin. Täällä sijaitsee

runsaasti auringon säteilyn vaikutuksesta varautuneita hiukkasia. Aluetta nimitetään *ionosfääriksi*. Vuorovaikutus radioaallon ja ionosfäärin hiukkasten välillä vaikuttaa siten, että aallon etenemissuunta muuttuu. Sopivien olosuhteiden vallitessa tämä muutos on riittävän suuri palauttamaan radioaallon takaisin maanpinnalle kauas lähteinlaitteistosta.

Radioaallon sekä sähkö- että magneettikenttä pyrkivät värähdellessään liikkuttamaan ionosfäärin varattuja hiukkasia, ensisijaisesti elektroneja. Osa aallon sisältämästä energiasta siirtyy elektronien liikkeeksi. Mikäli elektronit voivat liikkua riittävän vapaasti törmäämättä muihin hiukkasiin, niiden värähtelevä liike toimii ikään kuin uutena lähteinantennina. Säteilyn suunta vain muuttuu hiukan alkuperäisen aallon etenemissuunnasta — sanotaan radioaallon *taipuvan* ionosfäärissä. Riippuu aallon etenemissuunnasta, taajuudesta ja polarisaatiosta, maan magneettikentästä ja sen suunnasta sekä ionosfäärin hiukkastiheydestä, millainen aallon etenemistie on kokonaisuudessaan.

Elektronien värähdellessä ja liikkussa radioaallon vaikutuksesta osa elektroneista pakosta törmää muihin ionosfäärin hiukkasiin ja menettää siten liikkeensä energiaa. Näiden elektronien osuus eteenpäin siirtyvän aallon kentästä jää siis osittain tai kokonaan pois. Kentänvoimakkuus pienee, sanotaan radioaallon *absorboituvan*. Elektronien törmäystiheys vaihtelee siten, että absorptio keskittyy ionosfäärin alaosiin ja taipuminen yläosiin. Epäedullisissa olosuhteissa absorptio on niin voimakas aallon etenemistiellä, että maanpinnalle palautuu vastaanottoa varten liian pieni energiamäärä. Toinen radiokuuntelun kannalta epäedullinen tilanne on tietysti se, ettei taipuminen olekaan riittävän voimakasta,



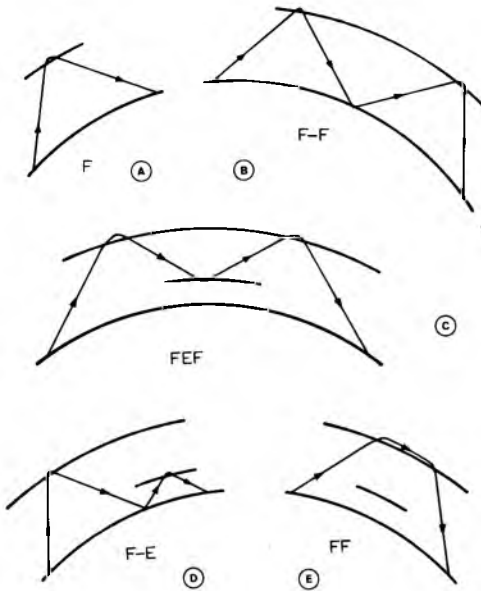
Kuva 30. Radioaaltojen eteneminen. Aalto A ei pysty taipumaan tarpeeksi ionosfäärissä.

vaan aalto etenee ulkoavaruuteen vain vähän suuntaansa muuttaen.

Mikäli maan pinnalle palautunut aalto osuu vastaanotinantennin kohdalle, kentän vaikutus kohdistuu jälleen varauksiin, nyt antennin vapaisiin elektroneihin. Syntyvä liike merkitsee virran kulkemista antennissa. Virran jakautuminen riippuu taas antennin muodosta ja sijainnista. Antennin virta siirtyy alas siirtojohtoa pitkin itse vastaanotinlaitteistoon, jossa sähköinen signaali palautetaan alkuperäiseen muotoonsa, ääneksi.

Ionosfäärissä taipuneen ja maan pinnalle palautuneen aallon sanotaan tehneen yhden *hypyn*. Pisin matka, jonka radioaalto voi edetä yhden tällaisen hypyn avulla, riippuu oleellisesti siitä korkeudesta, missä pääosa taipumisesta ionosfäärissä tapahtuu. Sadan kilometrin korkeudelta taipunut aalto voi edetä runsaan 2200 km:n päähän, 300 km:n korkeudelta yksi hyppy kantaa jopa 4400 km:n päähän.

Vielä useammin aalto heijastuu takaisin ylöspäin maan pinnalta, ja useamman hypyn muodostama etenemistie onkin ainoa mahdollisuus saavuttaa radiosignaaleilla maapallon vastakkaisella puolella sijaitsevat vastaanottimet. Aalto saattaa ennen palautumistaan maan pinnalle heijastua takaisin ylöspäin jo ionosfääristä, taipua



Kuva 31. Avaruusaallon etenemismuotoja. A yhden hypyn tie, B kahden hypyn tie, C yhden välihypyn tie, D kaksi hyppyä eri kerroksista, E harvinainen etenemistie.

uudelleen alaspäin ja saavuttaa maan pinnan paljon yhden hypyn kantamaa kauempana. Tavallisesti vastaanottoantenniin saapuu radiosignaaleja useampaa etenemistietä pitkin. Tämä aiheuttaa vastaanotettuun kaukaisen signaalin voimakkuuteen melkoisia vaihteluita.

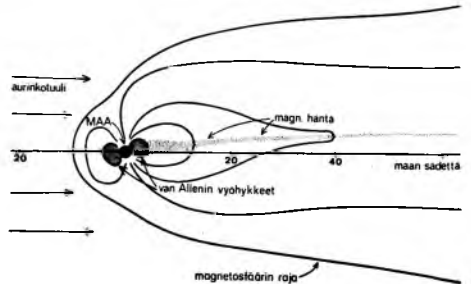
Ionosfäärin synty ja rakenne

Ionosfääri on määritelmän mukaan se osa maapalloa ympäröivää ilmakehää, jossa vapaiden elektronien määrä on niin suuri, että niillä on vaikutusta radioaaltojen etenemiseen. Tämä alue ulottuu 60 km:n korkeudelta 400 km:n korkeuteen maan pinnasta lukien. Ionosfääri jakautuu pystysuunnassa useaan alueeseen eli *kerrokseen*. Yläosastaan ionosfääri jatkuu sulautuen vähitellen usean maan säteen päähän ulottuvaan *magnetosfääriin*.

Ionosfäärin syntyä hallitsee lähes yksinomaan aurinko ja sen lähettämä säteily. Ultraviolettijä röntgensäteiden sekä osittain myös auringosta tulevien hiukkasten vaikutuksesta maan ilmakehän kaasuatomeista irtoaa elektroneja, jotka jättävät atomit sähköisesti varautuneiksi, ionisoituneiksi. Syntyvät elektronit ovat atomeja paljon keveämpiä ja siksi helpommin radioaaltojen heiluteltavissa.

Auringon keskeisestä asemasta johdettujen ionosfäärin rakenne seuraa tarkoin niitä muutoksia ja vaihteluita, joita auringossa ja sen säteilyssä tapahtuu. Säteilyn voimistuessa elektronien määrä ionosfäärissä kasvaa ja radioaaltojen etenemisolosuhteet muuttuvat vastaavasti. Koska säteily on oleellista elektronien syntymiselle, merkitsee yö ja auringon suoranaisen säteilyn lakkaaminen elektronien lukumäärän pienentymistä. Elektronit pyrkivät joukolla takaisin ionisoituneiden atomien pariin ja muodostavat neutraaleja kaasuatomeja. Osa ionosfäärin kerrostumista häviääkin lähes kokonaan yöaikaan.

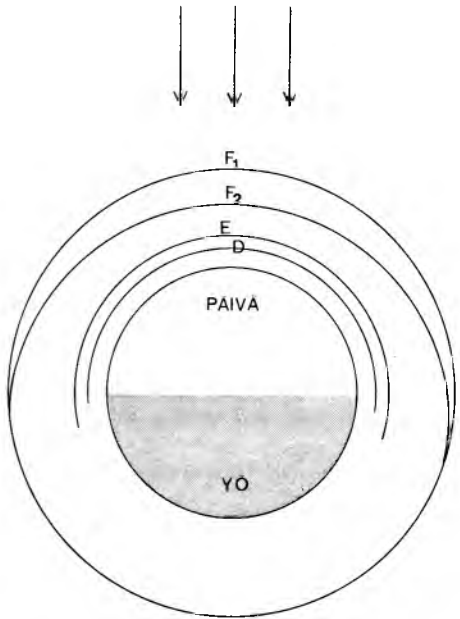
Säteilyn lisäksi auringosta purkautuu jatkuvana virtana varautuneita ja varautumattomia hiukkasia avaruuteen ulomman kaasukehän eli kromosfäärin ja koronan kautta. Osa tästä virrasta, *aurinkotuulesta*, osuu maapallon koh-



Kuva 32. Aurinkotuulen ja maan välinen vuorovaikutus. Piirretty mukailien kirjasta *Solar-terrestrial physics*.

dalle ja pyrkii työntämään edellään maan magneettikenttää. Osa hiukkasista jää työntämisen aikana ansaan eli kiertämään maapalloa. Hiukkaset varastoituvat maapalloa kaarevina kiertäviin vyöhykkeisiin, joita keksijänsä mukaan nimitetään *van Allenin vyöhykkeiksi*. Myös auringosta pois päin suuntautuva magneettinen häntä toimii hiukkasvarastona. Maapallon magneettikentän voimaviivoja pitkin hiukkaset "vajoavat" alempaan ionosfääriin ja aiheuttavat vaihteluita magneettikentässä, edelleen muutoksia ionosfäärin rakenteessa ja revontulia yms.

Aika ajoin auringossa tapahtuu purkauksia, jolloin hiukkasvirta kasvaa erityisen suureksi. Seurauksena ovat myös maan ilmakehän normaalia suuremmat vaihtelut — ionosfäärin häiriintynyt tila merkitsee useimmiten vaikeuksia radioliikenteelle. Säteilyvyöhykkeistä "vajoavat" hiukkaset saapuvat maapallon alempiin osiin rengasmaisessa vyöhykkeessä, jonka keskipisteenä ovat maapallon magneettiset navat. Tämä rengasmaisen alue on ns. revontulivyöhyke. Revontulia esiintyy täällä runsaimmin, ja vyöhyke on samalla erityisen altis ionosfääri- ja siis myös radiohäiriöille. Suomen sijainnista johtuu, että Atlantin yli Pohjois-

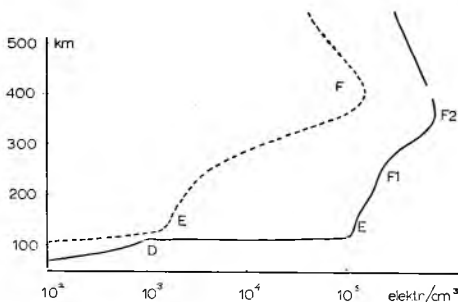


Kuva 34. Kaaviokuva ionosfäärin kerrosten vaihtelusta vuorokauden eri aikoina. Kuvassa on liitettu kerrosten etäisyyttä maapallosta.

Amerikasta tulevat radiosignaalit ovat erityisen herkkiä revontulivyöhykkeen häiriötiloille.

Ionosfäärin kerroksia on neljä, ja niistä käytetään kirjainnimityksiä *D-, E-, F1- ja F2-kerrokset*. Alimpana on *D-kerros*, ja se sijaitsee 60—100 km:n korkeudessa. Kerroksen ionisaatio on peräisin auringon läpätunkevimmasta säteilystä. Kerroksen merkitys radioliikenteelle on ensisijassa haitallinen, absorboiva, vaikkakin erittäin pitkäaaltiset radiosignaalit voivat myös tulla *D-kerroksessa*. Yön ajaksi kerroksen elektronitiheys laskee tuntuvasti ja häiritsevää absorptiota pienenee. Parhaiten radioaallot etenevätkin sellaista tietä pitkin, jossa aalto joutuu läpäisemään pimeänä olevan *D-kerroksen*.

E-kerros sijaitsee 90—150 km:n korkeudella, ja se muistuttaa paljolti *D-*



Kuva 33. Elektronitiheys ionosfäärin kerroksissa. Katkoviiva kuvaa yötä ja yhtenäisen viiva päivää.

kerrosta. Vaikutus on pääasiassa absorboiva, ja kerros häviää lähes kokonaan yön ajaksi. Erikoisuutena esiintyy n. 100 km:n korkeudessa satunnaisesti ohut elektronitihentymä, *sporadinen E-kerros* (E_s -kerros). Tiheys on niin suuri, että normaalisti vain näköetäisyydelle etenevät VHF-aallot (esim. ULA- ja TV-aallot) pystyvät heijastumaan E_s -kerroksesta hyvinkin pitkien matkojen päähän. Sporadisia E-kerroksia on monen tyyppisiä; tärkeimmät esiintyvät yöaikaan revontulialueella sekä päiväsaikaan lähempänä maapallon päiväntasaajaa.

F-kerroksista alempi, F1, vaikuttaa jo oleellisesti radioaaltojen taipumiseen, vaikka F2:n merkitys onkin huomattavasti suurempi. F1-kerroksen elektronitiheyden huippu sijaitsee n. 200 km:n korkeudella. Yöllä alempi kerros liikkuu ylöspäin ja F2 vastavasti alaspäin, joten voidaan itse asiassa kuvitella kerrosten sulautuvan yhdeksi pimeään aikaan 250—3000 km:n korkeudella. F-kerroksissa esiintyy myös satunnaisesti pitkittäisiä elektronitihentymiä, ns. *haja-F-kerroksia*. Näille on tunnusomaista nopea sivusuuntainen liike. Vaikutus radioaaltojen etenemiseen on tilanteesta riippuva ja siksi melko vaikeasti ennustettavissa.

Ionosfäärin häiriöt ja auringon aktiivisuus

Ionosfäärin rakenteen vaihteluista on edellä jo ollut puhetta; päivittäisen rytmien määräävät auringon nousu ja lasku kulloinkin kyseessä olevan ionosfäärikerroksen korkeudella. Auringon aseman muuttuminen eri vuodenaikoina tuo oman vaihtelunsa myös ionosfäärin muutoksiin. Radioliikenteen kannalta haitallisimpia ja samalla vaikeimmin ennustettavia ovat ionosfäärin häiriötilat.

Auringon säteilyn ja hiukkassuihkun

tasapainotila järkkyy varsin helposti. Auringon pintaan ilmestyy aika ajoin usean päivän, jopa kuukauden ajan kasvavia vaaleampia läikkiä. Sopivissa olosuhteissa tällaisen pyörteisen läikän kohdalle kasvaa myös tavallista voimakkaampi magneettikenttä. Pyörteiden lämpötila ei tasoitu, ja alue jäähtyy keskeltä, voimakkaan kentän kohdalta. Nopeasti lähes puoleen ympäristön lämpötilasta jäähtyvä kaasuvirtaus näkyy tummana alueena auringon pinnassa. On syntynyt *auringonpilkkuu*. Pienemmät pilkut (halkaisijaltaan 1500 km) syntyvät ja katoavat nopeasti, parissa päivässä. Usein pilkku kuitenkin laajetessaan hajoaa jopa satoja pilkkuja sisältäväksi ryhmäksi. Lähes kaikki pilkut esiintyvät parittain siten, että toisessa magneettikenttä suuntautuu ylöspäin, toisessa alaspäin kohti auringon sisustaa. Pilkkujen tai pilkkuryhmien elin aika vaihtelee suuresti, pitkäikäisimmät ovat mukana jopa 4—5 kierrosta auringon ympäri, eläen siten yhtä monta kuukautta. Pilkkualueet ja niitä ympäröivät vaaleammat läiskät ovat häiriintyneen auringon aktiivisuuskeskuksia.

Auringonpilkkujen helppo havaitseminen on johtanut *auringonpilkkuluvun* käyttöönottoon mittana auringon aktiivisuudelle. Mainittu luku määritellään pilkkujen lukumäärän ja kymmenellä kerrotun pilkkuryhmän lukumäärän summana. Kunkin havaintoaseman laitteistosta riippuva kerroin liitetään vielä tähän eteen:

$$R = K(10N_{\text{ryhmä}} + N_{\text{pilkku}})$$

Kun seurataan auringonpilkkuluvun kuukausi- ja vuosikeskiarvojen vaihtelua, on todettavissa selvää jaksollisuutta. Aktiivisuuden suurin ja pienin arvo vuorottelevat, ja niiden väli vaihtelee kahdeksasta seitsemääntoista vuoteen. Välin keskiarvo on 11 vuotta, ja tätä

sanotaan yleensä auringonpilkkujaksoksi. Kahden peräkkäisen jakson magneettiset ominaisuudet poikkeavat kuitenkin toisistaan, joten tarkasti ottaen jakson pituus on kaksinkertainen, 22 vuotta. Viimeksi aurinkopilkkuminimi oli elokuussa 1964 ja maksimi lokaussa 1968.

Pilkkualueille ominainen piirre on myös äkillisten hiukkaspurkaukumien esiintyminen alueen keskustassa. Pilkkuryhmän siirtyessä auringon reunalta toiselle esiintyy 20-60 minuuttia kestäviä purkauksia, jotka voidaan havaita voimakkaana valoilmiona vetyatomin säteilyssä. Purkaus alkaa ultraviolettisäteilyllä muutaman minuutin aikana, jolloin auringon pinnan lämpötila kasvaa kolminkertaiseksi. Muutaman minuutin kuluttua hiukkaset pääsevät valloilleen. Purkaus on huipussaan, kestää vielä muutaman minuutin ja heikkenee vähitellen. Pilkkuryhmän magneettikenttä sinkoaa hiukkaset ylisuurella nopeudella ulkoavaruuteen. Purkaukset ovat erityisen tyypillisiä suurille ja aktiivisille pilkkuryhmille. Vähemmän niitä esiintyy myös mainituilla vaaleammilla läikkäalueilla, jotka säilyvät auringon pinnalla vielä kauan pilkkujen häviämisen jälkeen.

Purkaukuvan säteilyn vaikutus tuntuu maapallolla lähes välittömästi, 8,3 minuutin kuluttua. Säteilyn kasvaminen merkitsee suurempaa elektronien muodostumisnopeutta ionosfääriässä. Hiukkastiheyden kasvu mm. lisää absorptiota ja vaikeuttaa radioaaltojen etenemistä, puhutaan ionosfäärimyrskystä. Hiukkassuihkun vaikutus tuntuu huomattavasti myöhemmin. Jos maa osuu suihkun tielle 24—36 tuntia purkauksen jälkeen, voidaan havaita revontulia, ja maan magneettikenttä vaihtelee normaalia voimakkaammin. Maan säteilyvyöhykkeiden kautta purkautuu runsas hiukkasvirta ionosfääriin alempiin kerroksiin. Hiukkasten virtaus

edustaa sähkövirtaa, joka näkyy maan magneettikentän vaihteluna. Kokonaisvaikutus on se, että absorptio kasvaa voimakkaasti ja radioasemien signaalit heikkenevät yhteyksien katketessa paikoin jopa kokonaan monien tuntien ajaksi. Tämä *magneettisen myrskyn* pahin vaihe menee yleensä ohi päivässä, mutta kestää useasti vuorokausia, ennen kuin ionosfääri on palautunut entiseen rauhalliseen tilaansa. Mitä aktiivisempaa auringon toiminta on (auringonpilkkujen luku suuri) sitä tiheämpään häiriöt toistuvat. Ionosfäärin tila saattaa siksi olla jopa viikkoja varsin rauhaton auringonpilkkumaksimin aikoihin.

Auringon häiriötilat ovat suurelta osalta satunnaisia, mutta laajimmat häiriöalueet kestävät auringon pinnalla usean pyörähdyksen ajan. Häiriö tällöin tietysti toistuu pyörähdysajan, n. 27 vuorokauden, kuluttua. Ionosfäärin häiriötilat ja siis myös radioyhteyksien vaikeudet pyrkivät toistumaan 27 päivän välein, minkä lisäksi ne noudattavat myös auringonpilkkujaksoa, keskimäärin 11 vuotta.

Lähetystaajuuden merkitys

Lähetinaseman toimintataajuus vaikuttaa merkittävästi radioaaltojen etenemiseen. Pienillä taajuuksillahan aallon huippujen väli, aallonpituus, on suurempi kuin korkeilla taajuuksilla. Aallon ja ionosfäärin elektronien välinen vuorovaikutus muodostuu aivan erilaiseksi lähinnä riippuen siitä, kuinka paljon elektroni ehtii liikkua ja mahdollisesti törmäillä muihin ionosfäärin hiukkasiin, ennen kuin radioaallon seuraava harja taas heilauttaa sitä.

Erittäin matalilla taajuuksilla (VLF-

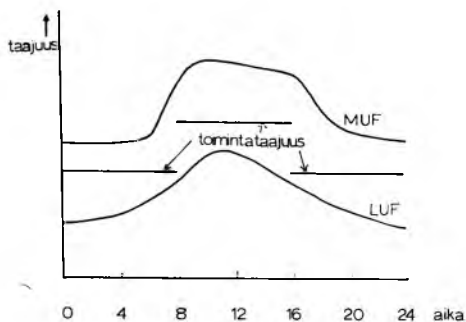
ja LF-alueella) radioaalto etenee kuitenkin valonsäde kiiltäväseinäisessä putkessa, heijastuen vuoroin kummastakin seinämästä. Radioaalloille nämä seinämät ovat maa ja ionosfääri. Myös korkeimmat LF-taajuudet taipuvat vähän aivan ionosfäärin alimmista osista, 75—95 km:n korkeudelta. Koska radioaallot näkevät ionosfäärin lähinnä seinämänä, ionosfäärin vaihtelut ja häiriöt vaikuttavat varsin vähän näiden aaltojen etenemiseen. Tästä johdetaan, että esim. lento- ja meriliikenteen paikanmäärittäykseen käytetään runsaasti näitä aaltoalueita.

Seuraava taajuusalue, keskiaaltoalue (300—3000 kHz), on laajalti yleisradiotoiminnan käytössä. Etenemistä hallitsee ennen kaikkea voimakas absorptio päiväsaikaan. Ionosfäärin elektronit nimittäin pyrkivät pyörimään maan magneettikentän voimaviivojen ympäri ns. *gyrotaajuudella*. Radioaalloilta vaaditaan huomattavan suuri energia, jotta elektronit tottelisivat aaltojen heilahdeluja eivätkä pyörimisliikettä. Radioaaltojen absorptio on siis erityisen voimakasta mainitulla taajuudella. Suurimmassa osassa maapalloa ionosfäärin gyrotaajuus osuu juuri keskiaaltoalueelle. Yön pidentyessä tilanne kuitenkin yleensä helpottuu, ja keskiyön aikaan ovat yhtä pitkät signaalien kulutukset mahdollisia kuin lyhyemmälläkin aaltoalueilla.

Lyhytaaltoalueella 3—30 MHz eli korkeammilla taajuuksilla tulevat ionosfäärin yksityiskohtaiset rakennevaihtelut yhä tärkeämmiksi. Absorptio pienenee taajuuden kasvaessa. Toisaalta taas yöllä tai talvisaikaan matalat taajuudet etenevät paremmin. Rajoittavaksi tuleekin nyt ns. *kriittinen taajuus*, joka sekun on ionosfäärin rakenteesta riippuva. Jos radioaallon taajuus ylittää tämän rajan, ionosfäärin elektronit eivät enää kunnolla ehdi seurata radioaaltojen heilahduksen tahtia, ja

taipuminen jää vaillinaiseksi. Radioaaltojen kulkusuunta ei muutukaan tarpeeksi, vaan aalto häipyi ulkoavaruuteen. Rajataajuus riippuu myös siitä kulmasta, missä aalto kohtaa ionosfäärin. Kun aaltojen taipumisen kautta kulkema matka riippuu tästä kulmasta, voidaan kullekin etenemistielle määrätä hetkellisesti suurin käytävissä oleva taajuus, *MUF* (Maximum Usable Frequency). Vastaava käyttökelpoisen kaukoliikenteen pienin mahdollinen taajuus on nimeltään *LUF* (Lowest Usable Frequency), ja sen määrää lähinnä radioaallon absorptio.

Lyhytaaltoalueillaakin saavutetaan parhaat kentänvoimakkuudet silloin, kun etenemistien kohdalla ionosfääri on pimeässä. Kuitenkin tiedetään tapauksia, jolloin radioaallot ovat kiertäneet maapallon ympäri 1 1/2 kertaa, ja silti kentänvoimakkuus on ollut vastaanottoon riittävä. Oma mielenkiintoinen kohta on piste, joka on täsmälleen vastakkaisella puolella maapalloa kuin lähetin. Tännehan radioaallot pääsevät useaa yhtä pitkää etenemistietä pitkin, joten kentänvoimakkuus kasvaa erityisen suureksi. Suomen sijainti on kuitenkin tämän ilmiön kannalta epäedullinen, sillä tämä vastakkainen piste, antipodi, sijaitsee olemattoman



Kuva 35. Radioaseman toimintataajuuden valinta erilaisten etenemisolosuhteiden mukaan.

radiotoiminnan alueella eteläisellä Tyyneellämerellä.

Korkeimmilla taajuuksilla (ULA ja TV-kanavilla) ei ionosfäärillä ole normaalisti merkitystä maan pinnalla tahtuvalle liikenteelle. Eteneminen on suoraviivaista, ja ilmakehän alakerrokset (ionosfäärin alla olevat) pystyvät absorboimaan aaltojen koko energian. Vain näköetäisyydellä, 60—100 km:n päässä lähettimestä, saadaan kuuntelulle tai katselulle riittävä signaali. Edullisissa olosuhteissa voivat VHF-aallot kuitenkin heijastua sporadisesta E_s-kerroksesta tai kanavoitua ilmakehässä. Kanavoituminen syntyy korkeapainesään yhteydessä kesällä auringon nousun ja laskun aikaan. Ilmaan muodostuu tiheydeltään poikkeava kerros, jossa aalto voi taipua ja edetä näin jopa muutaman tuhannen kilometrin päähän.

Huojunta (fading)

Radioasemien lähetyksiä kuunnellessa voi helposti todeta voimakkuuden vaihteluita, joissa muutosaika (esim. kuuluvuushuippujen väli) vaihtelee sekunnista minuutteihin ja tunteihin. Näillä nopeilla vaihteluilla on oma nimityksensä, *huojunta*. Kaikkein nopeimmissa muutoksissa muutosaika on sekunnin osia tai muutamia sekunteja. Kysymyksessä on tavallisimmin *interferenssihuojunta* joka johtuu eri teitä edenneiden radioaaltojen yhteisvaikutuksesta. Vaikka kunkin aallon perustaajuus on sama, eri teitä tuleiden aaltojen kentänvoimakkuus ei saavuta huippuaan samanaikaisesti. Aallot vuoroin vahvistavat, vuoroin heikentävät toisiaan, ja seurauksena on vastaanotetun kokonaissignaalin nopea vaihtelu. Kun kyseessä on ionosfäärin

kautta edennyt avaruusaalto ja yhtä voimakas maan pintaa pitkin edennyt pinta-aalto, syntävä huojunta on erityisen voimakasta. Niinpä kuuntelu auringon laskun aikoihin 300—800 km:n päässä lähettimestä on lähes mahdotonta. Yhtä ainoaa tietäkin pitkin edennyt aalto voi vaihdella voimakkuudeltaan yhtä nopeasti kuin usean aallon summa. Tällöin on kysymys *polarisaatiohuojunnasta*. Aaltoon liittyvä kentänvoimakkuus värähtelee jatkuvasti suuntaansa muuttaen, aallon polarisaatio vaihtelee hetkestä toiseen. Tämä huojunnan muoto johtuu ionosfäärin nopeista paikallisista muutoksista. Ionosfäärin laajat muutokset, kuten haja-F-kerrosten liikkeet, muuttavat usein aaltojen taipumisolosuhteita siten, että aalto suuntautuu eri hetkinä eri kohtiin maan pinnalla. Yhdessä kiinteässä vastaanotinpisteessä tämä koetaan silloin kentänvoimakkuuden vaihteluna. Kysymyksessä on *fokusointihuojunta* ja sen tyypilliset muutosajat ovat 10—20 minuuttia. Vieläkin hitaammat vaihtelut, joiden muutosaika on muutama tunti, johtuvat absorptioon muuttumisesta radioaaltojen etenemistiellä. Tämä *absorptiohuojunta* lähestyy ominaisuuksiltaan jo kentänvoimakkuuden yleistä päivittäistä vaihtelurytmiä.

Kuuntelijan kannalta ehkä ikävin vaihtelu on nimeltään *selektiivinen huojunta*. Radioaallossahan on varsinaisen lähetystaajuuden lisäksi mukana modulaatio, joka edustaa varsinaista lähetettävää signaalia, ääntä. Eräissä tapauksissa ionosfäärin absorptio riippuu niin voimakkaasti taajuudesta, että erikorkuisia ääniä edustavat modulaatiovärähtelyt absorboituvat aivan eri tavoin. Lopputuloksena on vastaanotetun signaalin sisältämän äänen voimakkuussuhteiden vääristyminen täysin; äänestä on mahdoton saada selvää. Signaali on hyvin voimakkaasti säröytynyt.

Radiokelien ennustaminen

Radioliikenteestä suurin osa on niin tärkeää, ettei pitempiä katkoja voida sallia. Myös ulkomaille suuntautuva yleisradiotoiminta tietysti toivoo mahdollisimman hyviä vastaanotto-olosuhteita siinä maassa, johon lähetykset on suunnattu. Koska kentänvoimakkuuden pitempiaikaiset vaihtelut noudattavat auringon rytmitystä, voidaan odotettavissa olevia signaalin voimakkuuksia arvioida melko hyvin. Kun lisäksi seurataan ja mitataan ionosfäärin tilaa jatkuvasti, voidaan tärkeimmille radioyhteyksille laatia kuukausittain ennusteet, joista käyvät ilmi mm. suurimmat ja pienimmät käytettävissä olevat taajuudet (MUF ja LUF).

Radioasemat pyrkivät suunnittelemaan toimintansa siten, että vuorokauden mittaan tarvitsee vaihtaa taajuuksia mahdollisimman vähän. On pyrittävä toimimaan mahdollisimman korkeilla taajuuksilla, jolloin absorptio aiheuttamat häviöt ovat pienimmillään. Kuitenkaan ei MUF:n tilapäinen pieneneminen saa vaarantaa radioyhteyttä. Tämän kaiken lisäksi on tietysti pidettävä huoli sopivista antenneista, valittava niiden säteilykuviot vastaanottomaan mukaan sopivasti, pyrittävä suureen tehoon sekä lopuksi välttämään muiden asemien aiheuttamat häiriöt.

Päivittäisten taajuusmuutosten lisäksi suuret ulkomaanlähetyasemat vaihtavat toimintataajuuttaan jopa neljä kertaa vuodessa riippuen aina kulloisestakin aurinkopilkkujakson vaiheesta. Kun aktiivisuus on pienimmillään, MUF pienenee ja lyhyemmät aaltoalueet 16 ja 19 m ovat ”tukossa” jo alkuillasta. Samalla myös absorptiota johtuva LUF pienenee, joten kaikkiaan radioasemat keskittyvät käyttämään matalampia taajuuksia. Aurin-

gon aktiivisuuden kasvaessa käytetyt taajuudet taas kasvavat.

Vaikeimpana kysymyksenä radioliikenteen luotettavuudessa ovat häiriöt, koska niiden tarkka ja yksityiskohtainen ennustaminen on mahdotonta. Auringon toimintaa pyritään seuraamaan erittäin tarkasti, jotta ainakin tulevista magneettisista myrskyistä voitaisiin varoittaa etukäteen. Tiedot kootaan keskitetysti, ja ainakin vakiotaajuusasemien WWV:n ja WWVH:n kautta annetaan ennusteet lähimmän kuuden tunnin magneettiselle aktiivisuudelle ja radioyhteyksien laadulle. Odotettavissa oleva häiriö voidaan välttää muuttamalla radioaseman toimintataajuus hetkellisesti normaalista poikkeavaksi.

Kaikki edellä sanottu koskee siis todennäköisen eli keskimääräisen kentänvoimakkuuden määräämistä. Vain suurimmat asemat voivat tehokkaasti käyttää hyväksi taajuuden valintamahdollisuuksia jne. Pienillä asemilla on usein käytössä vain yksi taajuus, eivätkä ne pyrikään palvelemaan muita kuin lähiympäristönsä kuuntelijoita. DX-kuuntelun kannalta on kuitenkin hyödyllistä tietää etenemismahdollisuuksien tärkeimmät suuntaviivat. Kovin tarkka ennustaminen ei kuitenkaan DX-kuuntelussa ole mahdollista eikä edes järkevää, yllätyksellisyydessähän piilee huomattava osa harrasteen viehätystä.

Kirjallisuutta

- N. Ya. Bugoslavskaya: *Solar activity and the ionosphere*, Pergamon Press 1962.
 K. Davies: *Ionospheric radio propagation*, NBS Monograph 80, Washington 1965.
 K. Davies: *Ionospheric radio waves*, Blaisdell Publ. Co., Waltham 1969.
 J. W. King — W. S. Newman (toim.): *Solar-terrestrial physics*, AP, Dorking 1969.
 J. A. Ratcliffe: *Sun, earth and radio*, Weidenfeld and Nicholson, Lontoo 1971.
 H. Risbeth — O. K. Garriot: *Introduction to Ionospheric Physics*, AP, New York 1969.

Kelien säännölliset vaihtelut

Pentti Stenman

Kun puhumme kelien vaihtelusta, tarkoitamme ionosfäärin muutoksista aiheutuvia vaihteluita eri lähteistä saapuvien radiosignaalien kentänvoimakkuuksissa. Kaikkein selvimmin säännölliset vaihtelut näkyvät kelien vuorokausirytmisissä. Maapallon pyöriessä auringon vaikutukselle alttiina oleva alue vaihtelee, jolloin vastaavasti ionosfäärin elektronitiheys muuttuu. Auringon valaisemassa ionosfäärin osassa pientaajuiset signaalit (lähinnä keskiaallot ja tropiikkibandit) heikkenevät hyvin voimakkaasti D- ja E-kerroksissa. Vaimenemisen voimakkuus riippuu lähinnä taajuudesta (pienet taajuudet vaimenevat enemmän) ja ionosfäärin silloisesta elektronitiheydestä (mitä suurempi E- ja D-kerrosten elektronitiheys, sen suurempi vaimeneminen). Toisaalta ionosfäärin F-kerros pystyy heijastamaan sitä suurempia taajuuksia, mitä suurempi on sen elektronitiheys. Täten kullekin yhteysvälille käyttökelpoinen taajuusväli vaihtelee voimakkaasti sen mukaan, onko reitti auringon valossa vai pimeässä.

Koska radioaaltojen etenemiseen vaikuttaa nimenomaan ionosfäärin elektronitiheys, ei pelkällä auringon paisteella tai paistamattomuudella voi selittää kaikkea kelien vaihtelun säännönmukaisuutta. Varsin tärkeä on myös auringon toiminnan voimakkuus.

Auringon aktiivisuuden ollessa hyvin alhainen voivat pienetkin taajuudet edetä jonkin verran myös auringon vaikutukselle alttiita reittejä ja suuret taajuudet ovat vastaavasti lähes käytökeltvottomia. Auringon ollessa rauhanon (ja auringonpilkkuluvun korkea) imeytyminen matalilla taajuuksilla on hyvin voimakasta, mutta korkeat taajuudet puolestaan ovat kaukoyhteyksille varsin edullisia.

Matalimmilla DX-taajuuksilla, siis pitkillä ja keskipitkillä aalloilla, eivät radioaallot voi edetä ionosfäärin kautta auringon ollessa korkealla horisontin yläpuolella. Auringon nousua joko lähetin- tai vastaanottopaikkakunnalla kestää enintään puolesta puoleentoista tuntia, kunnes tällainen signaali on vaimentunut käytännöllisesti katsoen ole-mattomiin. Tropiikkikaistoilla auringon nousu aiheuttaa signaalin heikkenemistä n. 10—20 dB tunnissa. Keski-talvella ja erityisesti Pohjois-Suomessa voi ajoittain olla kelejä myös keski-päivällä.

Ulkomaanlähetyasemat

Ulkomaanlähetyasemat käyttävät yleensä useampia taajuuksia ja suurempia lähetystehoja kuin esimerkiksi trooppisten alueiden paikalliset lyhyt-

aaltoasemat. Tämän vuoksi ne saavat suureksi osaksi vältetyiksi paikallisasemien kuulumiselle ominaiset vaihtelut eri vuorokaudenaikoina.

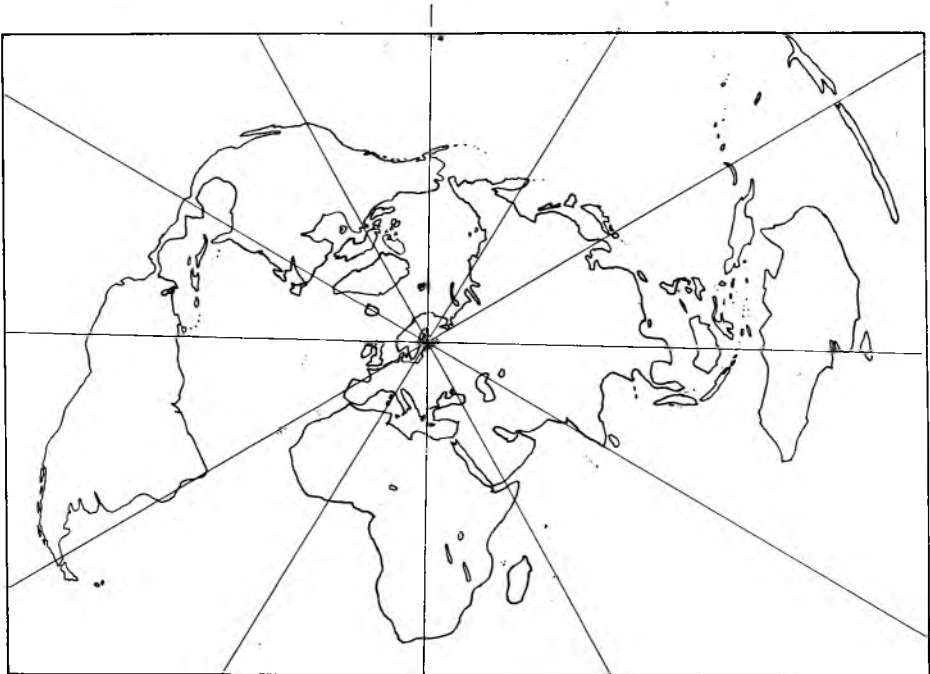
Toisin kuin paikallisaseman, ei ulkomaanlähetyksiaseman kuuluvuudessa ole kysymys useinkaan siitä, onko asema kuultavissa vai ei, vaan ainoastaan siitä, kuinka hyvin se kuuluu erilaisilla keleillä. Pelkästään toimintataajuuden muutos bandilta toiselle voi kompensoida ionosfäärin muutosten aiheuttamat muutokset kuuluvuudessa läheityksen kohdealueella.

Mikäli ulkomaanlähetyksiaseman ja sen kohdealueen väli on pimeässä, asema käyttää suhteellisen pientä taajuutta, kun taas valoisaa reittiä käytettäessä turvaututaan suurempiin taajuuksiin. Molemmissa tapauksissa käytetään tavalla pienempiä taajuuksia kuin kesällä ja auringonpilkuminimin aikana

jälleen pienempiä kuin auringonpilkuminmaksimin aikana. Koska sekä vuorokauden- että vuodenajat osuvat eri aikoihin eri puolilla maapalloa, suurin osa lyhytaaltobandeista on jatkuvasti ulkomaanlähetyksen käytössä.

Valoisat ja pimeät reitit

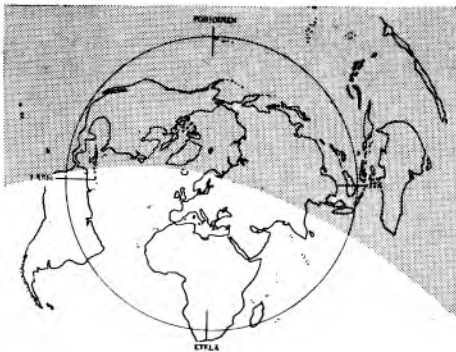
Normaalioloissa radioaalto seuraavat melko tarkkaan lähetin- ja vastaanottoaikan kautta kulkevaa isoympyräkaarta, mikä on myös näiden pisteiden välinen lyhyin reitti maapallon pinnalla. Suomi keskipisteenä piirrettyssä suuntakartassa kaikki Suomen kautta kulkevat isoympyrät ovat suorita. Tällöin radioasemien etäisyydet Suomesta voi mitata suoraan kartalta, ja samoin radioaaltojen kulkureitit ja saapumisilmansuunnat näkyvät vääristy-



Kuva 36. Etelä-Suomi keskipisteenä piirretty suuntakartta.

mättöminä. Piirtämällä suuntakartalle auringon valaiseman ja pimeässä olevan alueen rajan jonakin hetkenä näemme myös, missä sijaitsevia radioasemia täällä on mahdollista tai mahdollonta kuulla pienillä taajuuksilla.

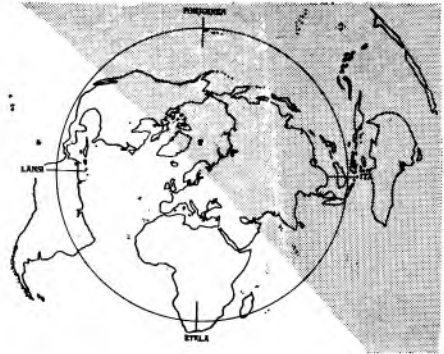
Aurinko vaikuttaa kauemmin ionosfäärin radioaaltoja vaimentaviin kerroksiin kuin niiden alapuolella olevaan maanpintaan. Auringon noustessa maan pinnalla ionosfäärin alimmat kerrokset ovat olleet auringon valossa jo jonkin aikaa, ja vastaavasti auringon laskiessa ionosfääri on pidempään valaistuna kuin maan pinta vastaavassa kohdassa. Koska kuitenkin radioaaltojen absorboituminen D- ja E-kerroksissa alkaa ja loppuu melko hitaasti auringon noustessa ja laskiessa, voimme pitää auringon nousua maan pinnalla sinä hetkenä, jolloin tämän pisteen kautta kulkevat radioaallot alkavat absorboitumisen takia heiketä merkittävästi. Tietenkään tämä ei ole ehdottoman täsmällinen ajankohta; taajuudesta ja signaalin voimakkuudesta riippuen saattaa ilmetä poikkeamia aina pariin tuntiin asti ja ylikin. Myös kielten vaihtelun epäsäännöllisyydet saattavat sotkea näitä kauniita ympyröitä, mutta eräänlaiseen keskiarvoasemaan ja keleihin seuraavassa esitetty pitää paikkansa.



Kuva 37. Auringon valaisemat ja varjossa olevat alueet suuntakartalla 15. 12. klo 11 GMT.

Talvi

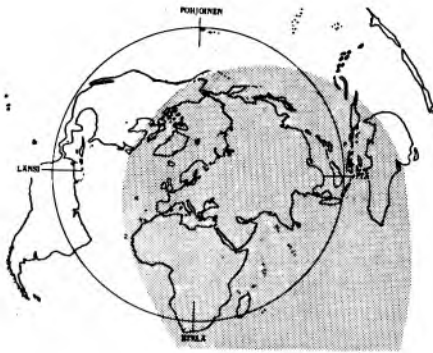
Talvipäivänä aurinko pysyttelee matalalla, minkä seurauksena on, että ionosfäärin elektronitiheys meidän leveysasteillamme jää suhteellisen alhaiseksi. Kuva 37 esittää auringon valaisemaa aluetta joulukuussa klo 11 GMT (tummennetuilla alueilla on yö). Ionosfäärin alhaisen tiheyden vuoksi jotkut kaukoasemat saattavat kuulua tropiikkibandeillakin päiväsaikaan muutamaa puolenpäivän tuntia lukuunottamatta. Iltapäivällä voimme kuunnella monia Kauko-Idän asemia.



Kuva 38. 15. 12. klo 14 GMT.

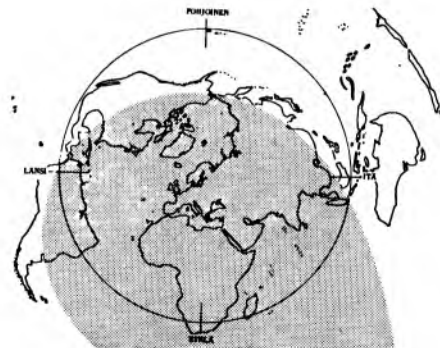
Auringon laskiessa täällä klo 14:n GMT tienoissa koko Aasia on jo varjossa, jolloin signaaleilla on erinomaiset mahdollisuudet kuulua, kuten näkyy kuvasta 38. Tähän aikaan Afrikkaan paistaa vielä aurinko täydeltä terältä, jolloin ainoastaan suuret taajuudet ovat käyttökelpoisia etelän suuntaan.

Ensimmäiset itäafrikkalaiset voivat alkaa kuulua noin klo 16—17 GMT tropiikkibandeilla. Koko Afrikassa aurinko on laskenut klo 19 GMT, mutta tällöin myös häiritsevät asemat ovat valitettavasti jo täysissä voimissaan koko Euroopan ollessa varjossa, kuten kuva 39 osoittaa.



Kuva 39. 15. 12. klo 19 GMT.

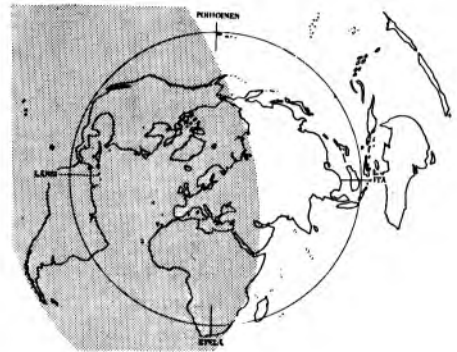
Koska pallonpuoliskomme on talvella kääntynyt pois päin auringosta, on hyvin tavallista, että illalla ionosfäärin elektronitiheys laskee niin alhaiseksi, että suurimmat lähetystaajuudet karkaavat F-kerroksenkin lävitse avaruuteen. Niinpä 11—19 tai 11—25 metrin bandit voivat ”kuolla” kokonaan illan ja yön ajaksi.



Kuva 40. 15. 12. klo 23 GMT.

Pienillä taajuuksilla voivat jotkut aasialaiset alkaa kuulua klo 20:n jälkeen aloittaessaan aamulähetyksensä. Ne häviävät kuitenkin varsin pian auringon noustessa siellä horisontin yläpuolelle. Kuvasta 40 näemme, että klo 23:n GMT aikoihin myös Etelä-Amerikan

itäosassa on aurinko laskenut. Tämän vuoksi talviöinä ei ole mitenkään harvinaista kuulla tropiikkibandeilla esim. brasilialaisia asemia aasialaisten seas- sa. Yleensä eteläamerikkalaiset pääsevät niskan päälle viimeistään loppuyöstä, jolloin aurinko on noussut lähes koko Aasian mantereella, kuten kuva 41 osoittaa. Aasialaisten tapaan voivat myös afrikkalaiset kuulua aamulähetystään aloittaessaan talvisaikaan matalilla taajuuksilla. Auringon noustessa horisontin yläpuolelle signaalit heikenevät kuitenkin pian olemattomiin.

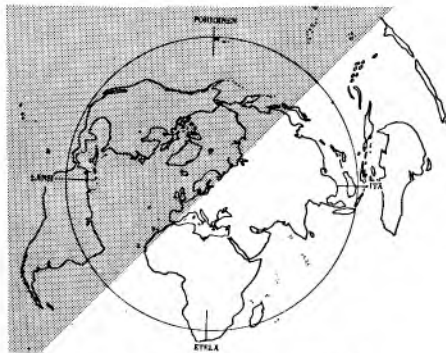


Kuva 41. 15. 12. klo 03 GMT.

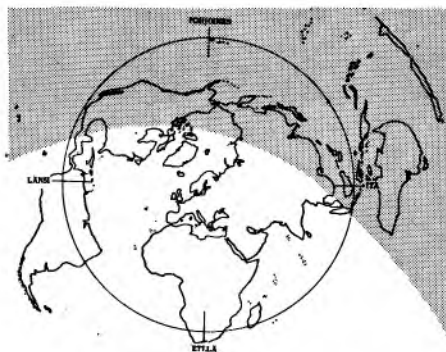
Auringon noustessa täällä klo 07:n tienoissa tie on yhä vapaa atlantintakaisille signaaleille tropiikkibandeilla (kuva 42). Asemien lopetettua lähetyksensä sikäläisen puolen yön aikoihin voimme täällä kuulla vain joitakin vuorokauden ympäri lähettäviä lattareita mantereen pohjoisosista.

Talvella voimme joskus kuulla kaukaisia yleisradioasemia pienillä taajuuksilla myös nk. pitkän tien kautta. Tavallisesti signaalit saapuvat tänne lyhyintä mahdollista reittiä. Esimerkiksi Etelä-Amerikasta radioaallot tulevat Suomeen normaalisti Atlantin poikki, täältä katsoen siis suunnilleen län-

nestä. Toinen mahdollisuus olisi Tyynenmeren eteläosan, Australian ja Etelä-Aasian kautta, jolloin aallot siis saapuvatkin idästä. Radioasemien tavallisina kuulumisaikoina tämä jälkimäinen reitti on enemmän tai vähemmän auringon valossa ja siis sopimaton matalien taajuuksien lähettimien signaaleille.



Kuva 42. 15. 12. klo 07 GMT.



Kuva 43. 15. 3. klo 12 GMT.

Lähes ainoa ajankohta, jolloin pitkä tie matalilla taajuuksilla on edullisempi kuin lyhyt reitti, on keskitalvella n. klo 10—11 GMT Etelä-Amerikan pohjoisosan ja Suomen välillä. Tällöin Atlantin yli kulkeva reitti on

auringon valossa, kun taas Tyynenmeren kautta tuleva tie on pimeässä, kuten näkyy kuvasta 37.

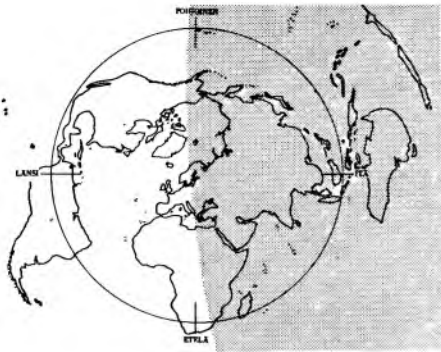
Sen sijaan korkeilla taajuuksilla pitkän tien eteneminen on hyvin tavallista kaikkina vuodenaikoina. Korkeimmat lyhytaaltotaajuudet (11—19 metriä) eivät paljon piittaa D- ja E-kerrosten vaimennusyrityksistä ja vaativat heijastuakseen F-kerroksesta suhteellisen suuren elektronitiheyden. Ne siis etenevät parhaiten auringon valaisemaa reittiä. Näillä taajuuksilla eteneminen voi joskus tapahtua pelkästään pitkän tien kautta. Pienillä taajuuksilla pitkän tien etenemisellä ei sen äärimmäisen harvinaisuuden vuoksi ole sanottavaa merkitystä DX-kuuntelijalle.

Kevät ja syksy

Kevät ja syksy ovat valaistukseltaan hyvin paljon toistensa kaltaisia, joten ne käsitellään tässä yhdessä. Karkeasti ottaen helmikuu vastaa lokakuuta, maaliskuu syyskuuta ja huhtikuu elokuuta valaistusolosuhteiltaan.

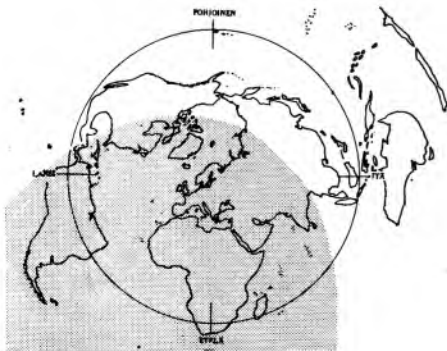
Päiväsaikaan aurinko on niin korkealla, että matalien taajuuksien eteneminen ionosfääriin kautta on lähes mahdotonta voimakkaan absorption vuoksi. Eteneminen tapahtuu lähinnä pinta-aaltona. Vain hyvin lähellä sijaitsevia asemia voi kuulla, mutta kuuluvuus on hyvä, koska kaukaisempien asemien ja muiden häiriölähteiden vaikutus ei tunnu. Ulkomaanlähetyksensä suosivat suuria taajuuksia.

Aurinko laskee täällä n. klo 16 GMT, jolloin jo koko Aasia ja suuri osa Itä-Afrikasta on varjossa (ks. kuva 44). Kauko-Idän asemat ovat jo lopettaneet tähän aikaan, mutta esim. intialaiset kuuluvat vielä hyvin tropiikki-bandeilla. Ilta on afrikkalaisten asemien parasta kuuntelu-aikaa 60 ja 90 metrin kaistoilla.



Kuva 44. 15. 3. klo 16 GMT.

Mikäli 19 ja 25 metrin bandit ovat auki illalla, näillä kaistoilla toimivat brasilialaiset saattavat kuulua erittäin hyvin keväisin. Tropiikkibandien asemat alkavat kuulua vähän myöhemmin eli 21 tai 22 GMT alkaen, jolloin aurinko laskee Brasilian itäosissa. Asemia voi kuulua koko Etelä-Amerikasta GMT:n puoliyöstä lähtien auringon laskettua myös mantereen länsiosassa, kuten kuva 45 osoittaa. Latinalainen Amerikka kuuluu sitten asemien lopettamiseen asti, jolloin myös auringon nousu täällä alkaa vaikeuttaa 60 ja varsinkin 90 metrillä toimivien asemien



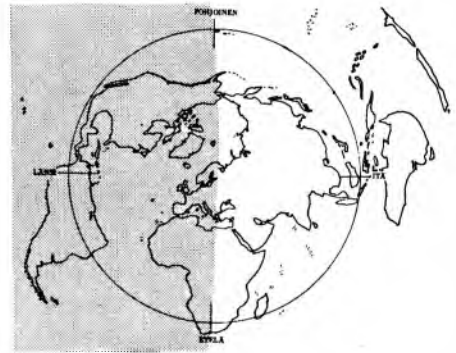
Kuva 45. 15. 3. klo 00 GMT.

kuulemista. Tropiikkibandit menevät käytännöllisesti katsoen kiinni auringon noustua n. klo 5—6 GMT.

Koko valoisa vuorokaudenaika on jokseenkin toivoton pitkille yhteyksille pienillä taajuuksilla.

Kesä

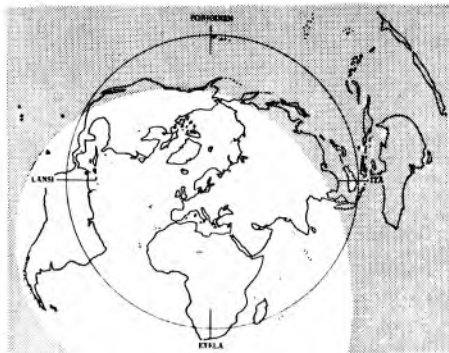
Kesällä keskipäivä on vieläkin vaikeampi kuin keväällä ja syksyllä. Esimerkiksi klo 12 GMT kaikki maanosat Australiaa lukuunottamatta ovat auringon paisteessa kuvan 47 mukaisesti. Suurille taajuuksille siirtyneille ulko-



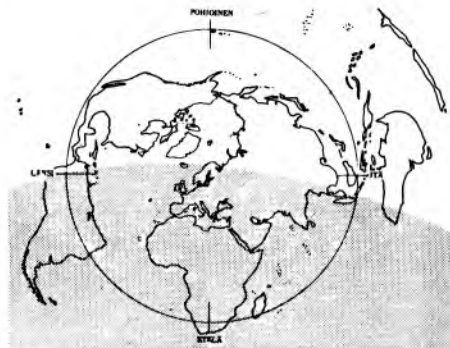
Kuva 46. 15. 3. klo 04 GMT.

maanlähetyksasemille ei tästä tietenkään ole sanottavaa haittaa. Sen sijaan tropiikkibandeilla alkaa ilmetä joitakin mahdollisuuksia kaukaisten asemien kuunteluun vasta n. 17—18 GMT, jolloin kelit saattavat aueta Itä-Afrikkaan. Myös joitakin voimakkaimpia aasialaisia voi kuulua tähän aikaan ennen asemien sulkemista. Vasta auringon laskettua klo 19—20 GMT mahdollisuudet alkavat parantua (ks. kuva 48).

Kesäyö on lyhyt ja valoisa: auringon paiste ulottuu yölläkin Pohjois-Suomeen Kauko-Idän ja Pohjois-Ameri-



Kuva 47. 15. 6. klo 12 GMT.



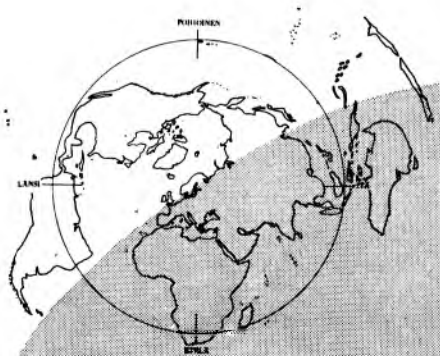
Kuva 49. 15. 6. klo 23 GMT.

kan lisäksi, kuten näemme kuvasta 49. Matalien taajuuksien vaimeneminen on voimakasta kaikilla muilla kuin meistä etelään johtavilla reiteillä. Osittain tästä saattaa johtua, että juuri keskikesän tienoilla on usein erinomaisia afrikkalaiskelejä. Afrikkalaiset lopettavat normaalisti viimeistään klo 24 GMT, mutta Atlantin toiselta puolen brasilialaiset kuuluvat varsin hyvin alkuyöstä muuten suhteellisen hiljaisilla bandeilla.

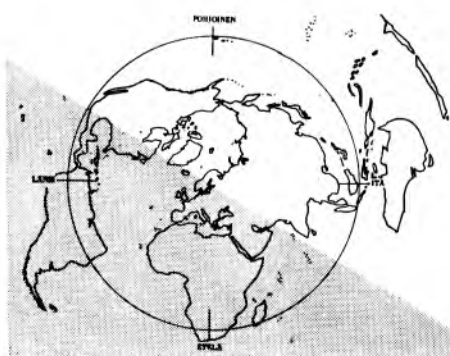
Koska kuuluu parhaiten

Pelkästään tarkastelemalla valaistus-

olosuhteita maapallon pinnalla eri vuodenaikoina voi päätellä varsin paljon siitä, kuinka eri maanosien asemat kuuluvat eri taajuuksilla ja eri vuorokaudenaikoina. Kauko-Idän asemia ei täällä juuri kuule tropiikkibandeilla kesäisin, koska silloin iltpäivät ovat liian valoisia. Eteläamerikkalaisten asemien heikkoon kuuluvuuteen talvella ei ole aivan yhtä yksinkertaista syytä, mutta yksi selitys löytyy muiden asemien voimakkaammasta häiritsevistä vaikutuksesta pimeänä vuodenaikana. Latalalaisen Amerikan kuulumisessa ei esiinnykään niin selviä vuodenaikavaihteluita kuin Kauko-Idän asemien.



Kuva 48. 15. 6. klo 20 GMT.



Kuva 50. 15. 6. klo 01 GMT.

Radioaallon etenemisreitit on olta- va riittävän pimeässä, jotta signaalin voimakkuus ei heikkenisi absorption vuoksi. Jos haluamme määritellä sen hetken, jolloin asema kuuluu parhaiten, ei pelkkä pimeys auta meitä pitkälle. Kuuluvuus ei esimerkiksi ole parhaimmillaan pienillä taajuuksilla silloin, kun aallon etenemistiellä on mahdollisimman paljon pimeää. Hieman parempi ”nyrkkisääntö” on se, että kuuluvuus on parhaimmillaan aurin- gon noustessa tai laskiessa lähetin- tai vastaanottopaikalla, mutta tämäkään ei pidä kovin hyvin yhtä todellisuuden kanssa.

Käytännössä on signaalin voimak- kuuden lisäksi otettava huomioon myös häiriöt, ja yleisradioasemien suhteelli-

sen voimakkuuden vuoksi häiriöillä on usein ratkaisevampi osa kuuluvuudesta kuin aseman voimakkuudella sinänsä. Tämän vuoksi paras aika aseman kuu- luvuudelle voi olla aivan toinen kuin pelkästään signaalin voimakkuuden vaihtelua tutkimalla voisi ajatella.

Kirjallisuutta

CRPL Ionospheric Predictions, US Govt. Printing Office, Washington (kuukausi- julkaisu).

Ionospheric Predictions based on Numerical Methods of Mapping, Handbook 90 of the NBS, US Govt. Printing Office.

Petersen: DX-ing 60 meters, kirjassa *How to Listen to the World 1971*.

Useful Tables from the American Practical Navigator, US Hydrographic Office, US Govt. Printing Office.

Kuvat 51—54. Kelien vuorokausirytmii näkyy eri maanosissa sijaitsevien asemien signaalin voimakkuuden vaihtelussa. Vaihtelun suuruus on pystyakselilla desibeleinä ja kellonaika on vaaka-akselilla. Eri maanosien asemien voimakkuuskäyrät on piirretty erilaisin viivoin. Kuviot vastaavat suunnitteen tilannetta loppupalvelulla auringonpilkku- luvun ollessa n. 50. Erilaiset ionosfäärin häiriöt ym. muuttavat luonnollisesti käyriä huomattavasti.

Merkkien selitykset

- Länti-Eurooppa
- - - Länti-Afrikka
- - - Itä-Aasia
- - - Läntinen Etelä-Amerikka
- Australia

