Raadiolainete levi

Jüri Ruut,
ES5JR

Pikk ja kesklained

- XIX sajandi lõpp- XX sajandi algus: raadioside toimus eranditult pikklainetel (30-300 kHz) ja kesklainetel (300-3000 kHz)
- Pikad lained liiguvad **pinnalainetena** Maa pinna ja ionosfääri D-kihi vahel
- Maa pole täiuslik juht: signaali võimsus väheneb kiiresti
- Tüüpilised võimusused: 10^5-10^6 W, levikaugus päeval kuni mõnisada, öösel mõni tuhat kilomeetrit, antennid hiiglasuured

300 kW kesklainesaatja



Kesklaineantennid



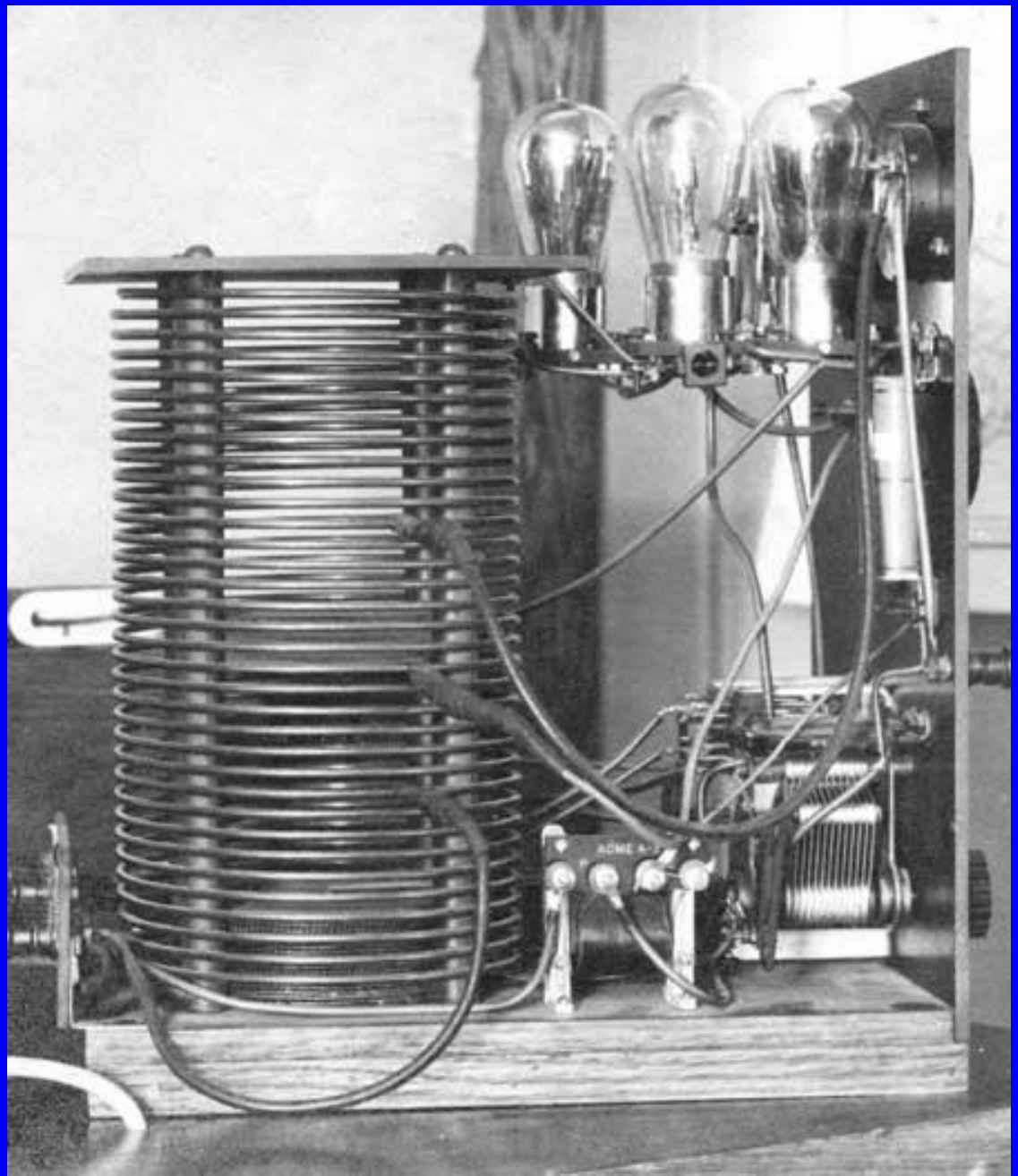
Lühilained I

- XX sajandi alguspool: lühilained ei sobi sidepidamiseks: pinnalaine levikaugus vaid mõnikümmend kilomeetrit
- Pikk- ja kesklainetel kitsas: iga jaam võtab enda alla 9 kHz riba
- Raadioamatöörid vähendavad saadaolevat ressurssi veelgi
- **Lõpptulemus: 1923. aastast lubatakse raadioamatööridel tegutseda vaid lühilainetel (3-30 MHz)**

Lühilained II

- Amatöörid lühilainetel:
  - 1921: esimene transatlantiline katseside
  - 1922: paljud USA ja Euroopa amatöörid kuulevad üksteist
  - 1923: transatlantilised sided
  - 1924: rutiinseks sidekauguseks 6000 miili, Uus-Meremaa <->USA/Euroopa
  - 1924: raadioamatööridele ametlikult 80, 40 ja 20 meetri lainealad
  - Tüüpiline võimsus: alla 1 kW

Amatöörsaatja, 1925



Lühilained III

- 1924-1927: Marconi alustab kommertstegevusega lühilainetel: traadita side Suurbritanniast asumaadesse
- 1928: pool kaabel- ja pikalainesidest on läinud üle lühilainetele
- Tänapäeval asendub järjest rohkem satelliitsidega

Lühilainete levi

- Lühilainete levi:
  - Signaal levib nii pinna- kui **ruumilainena**
  - Pinnalainete levikaugus mõnikümmend km
  - Ruumilaine peegeldub ionosfäärist, sidekaugused: alates 10^3 kilomeetrist
  - Pinna- ja ruumilaine levikuala vahele jääb "surnud tsoon": signaali pole kuulda

Ionosfäär

- Päikeselt tulev UV- ja röntgenikiirgus ioniseerib Maa atmosfääris gaasimolekulid
- Üle 80 km kõrgusel on atmosfäär nii hõre, et elektronid suudavad mingi aja vabalt eksisteerida
- Ionisatsioon sõltub Päikese aktiivsusest

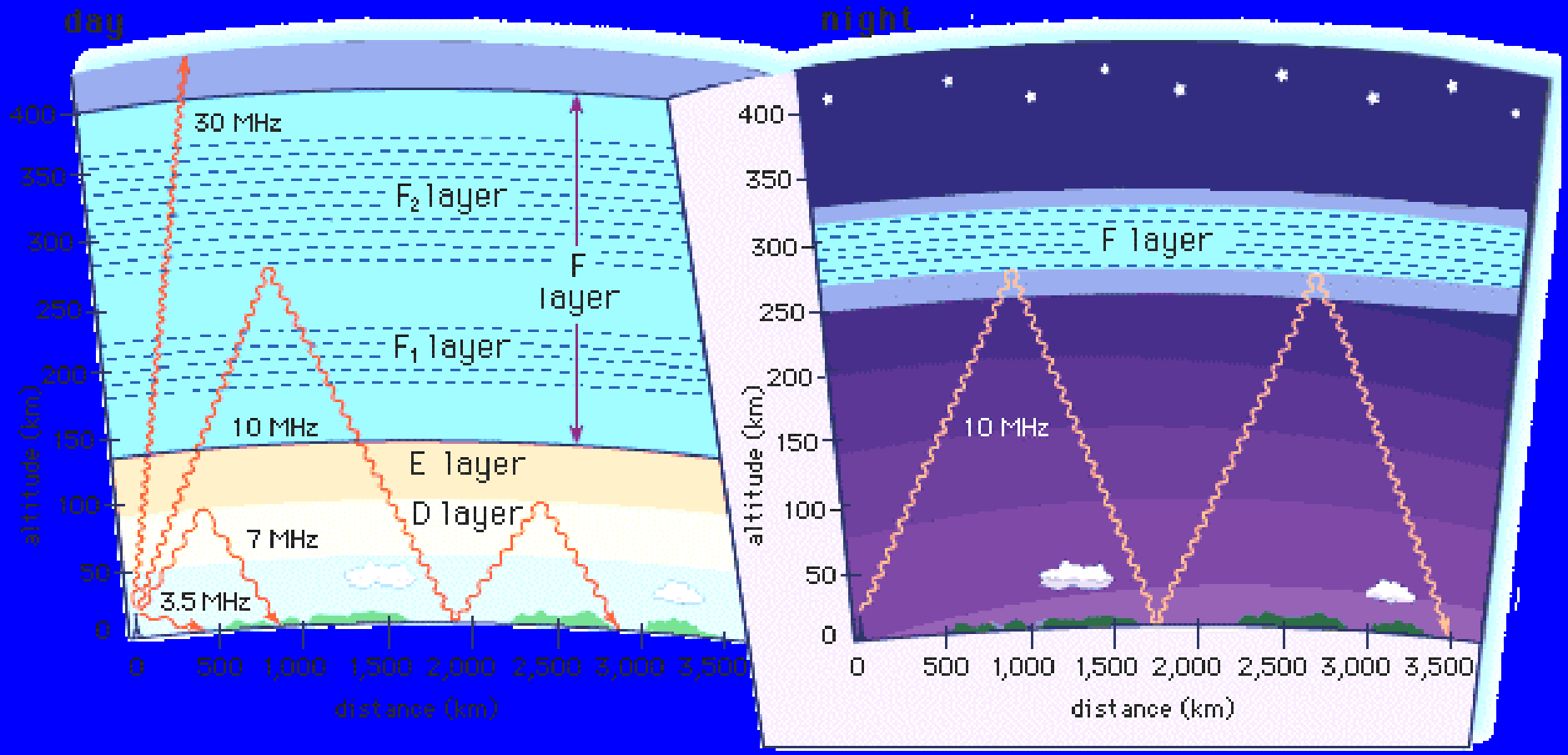
Ionosfääri kihid I

- D-kiht:
  - 50..90 km kõrgusel, öösel peaaegu kaob
  - Neelab raadiolaineid allpool 10 MHz
- E-kiht:
  - 90..120 km kõrgusel,
  - Suudab peegeldada raadiolaineid alla 10 MHz, osaliselt neelab üle 10 MHz
  - Tõuseb öösel kõrgemale, võib ka kaduda

Ionosfääri kihid II

- F-kiht (Appletoni kiht):
  - 120..400 km kõrgusel
  - Päevaajal jaguneb F1 ja F2 kihiks
  - Öösel jagunemist pole
  - Võimaldab kaugsidet lühilainel, kõige paremad tingimused päevaajal
  - Madala päikese aktiivsuse korral võib F kiht olla päeval õhuke ja öösiti kaduda

Lühilainete peegeldumine ionosfäärist



Lainelade levi iseärasused

- 160m ja 80m: päevaajal ruumilevi puudub (neeldumine D-kihis), öösel kauglevi (peegeldumine E- või F-kihilt).
- 40 ja 30 m: päevaajal sidekaugus mõni tuhat km (tugev neeldumine D-kihis), öösiti kaugsided (peegeldumine E- või F-kihilt).
- 20m: päeval kauglevi (F-kiht), öösel võib levi kaduda
- 20m..10m: madala päikese aktiivsuse korral võib levi ka päeval puududa

Kriitiline sagedus

- Raadiolained annavad energia ionosfääri elektronidele, mis hakkavad sama sagedusega võnkuma. Osa võnkeenergiast muutub uuesti laineks.
- Kriitilisest väiksema sagedusega vertikaalsihis ionosfääri sisenenud laine peegeldub. Peegeldumine toimub, kui elektronide tihedus on antud sageduse jaoks piisav

$$f_{kriitiline} = 9 * 10^{-3} * N^{1/2} \text{ MHz}$$

N: elektronide tihedus 1 cm3 kohta

Suurim kasutatav sagedus ja lõikesagedus

- **Suurim kasutatav sagedus** (MUF, *Maximum Usable Frequency)* on defineeritud kui kõrgeim sagedus, mida antud ajahetkel on võimalik kahe punkti vahel sidepidamiseks kasutada.

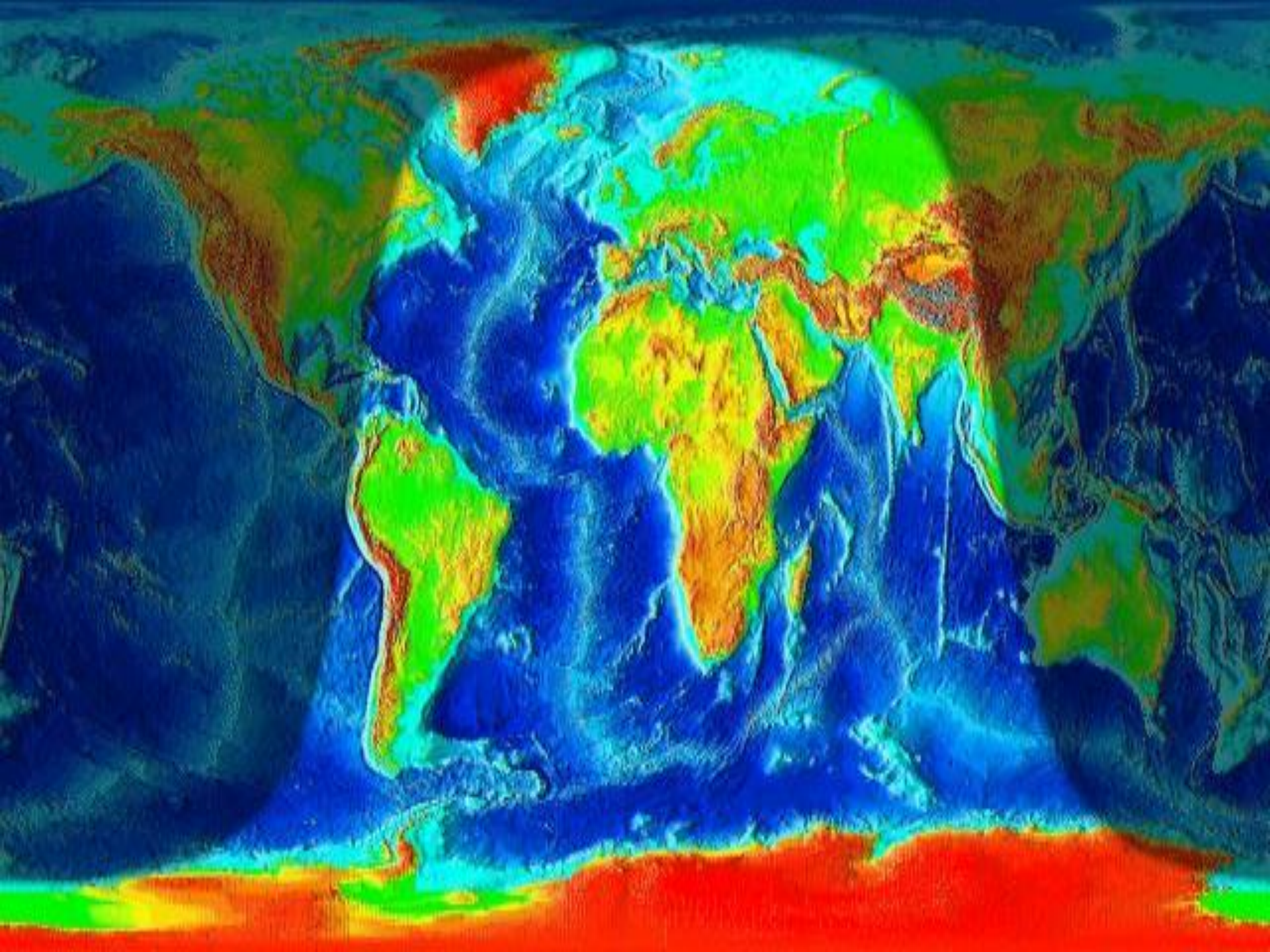
$$F_{muf} = f_{kriitiline}/\sin \alpha$$

α: laine nurk horisondi suhtes

- **Lõikesagedusest** (*cutoff frequency)* väiksema sagedusega laine ei suuda ionosfääri kahe punkti vahel sidepidamiseks vajaliku nurga all läbida (neeldub)

Videvikujoon

- Videvikujooneks (*grey line)* nimetatakse maakerale projitseerunud öö ja päeva vahelist ala
- D- kiht on kadunud või kadumas, F-kiht veel alles või juba tekkinud
- Videvikujoonel asetsevate jaamade vahel on levi tavalisest tunduvalt parem. Piisab ka, kui ainult üks jaam seal asetseb.
- Videvikujoon reaalajas: http://www.m0mcx.co.uk/?p=121



Leviennustused

- Päikese aktiivsust, ionosfääri aktiivsust ja kellaaega kasutades on võimalik teha ennustusi levi kohta mingis geograafilises punktis
- Lähteandmed ja valmisprognoosid:
  - http://www.hamradio-online.com/propagation.html
  - http://www.radiosport.ca/zoneprop/

DX-cluster

- Raadioamatöörid on loonud internetiteenuse, mis võimaldab saada ja anda ülevaate mingil lainealadel tehtud sidedest
- Veebiversioon: http://www.dxsummit.fi/
- Lisaks telnetiserverid, mida on võimalik siduda enamlevinud tarkvarapakettidega
- Negatiivne mõju: amatöörid ei oska enam kuulata, usaldatakse pimesi arvuti poolt etteantut

Ionosfääri häired

- Häirete põhiallikaks on Päike

Geomagnetilised tormid

- Põhjustajaks päikesetuul: pursete mõjul maailmaruumi paisatud elektronid ja prootonid
- Osakesed jõuavad Maale 24..36 tundi pärast neid tekitanud sündmust
- Kestus 24..48 tundi, harva ka kauem
- F2 kiht laguneb või isegi kaob, tekkivad virmalised

Geomagnetilised tormid II

- Tagajärjed:
  - Lühilaineside kadumine või häirumine
  - Häired elektrivarustussüsteemides, geomagnetiliselt indutseeritud voolud; 1989 Quebecis 6 miljonit inimest 9 tundi elektrita
  - Satelliidid:
    - atmosfäär paisub kuumenedes, gaasi tihedus satelliidi ümber suureneb -> pidurdumine
    - Satelliidi eri osade laadumine: sädelahendused, elektroonikasüsteemide ülesütlemine

Röntgenikiirtest tekitatud häiritused

- Äkilised ionosfääri häired (*sudden ionospheric disturbances, SID)*
- Põhjustajaks kalgid röntgenikiired
- Jõuavad D-kihti, põrgete tulemusel eraldunud elektronid suurendavad raadiolainete neeldumist lühilainel
- Häired kaovad niipea kui kiirgus lakkab

Kõrgenergeetilistest prootonitest tekitatud häiritused

- Polaarneeldumine (*polar cap absorption, PCA)*
  - Põhjustajaks kõrgenergeetilised prootonid
  - Jõuavad Maale 15 min kuni 2 tundi pärast purset
  - Suunatakse Maa atmosfääri pooluste ümbruses
  - Suureneb D ja E kihi ioniseeritus
  - Kestus 24..36 tundi

Välgust tingitud häiritused

- Häired D-kihis magnetosfääri häirete või otsese kuumenemise/ ioniseerumise tõttu
- Kõige sagedasem häirete põhjustaja raadiosides: igas sekundis lööb Maal välku ca 100 korda

Levianomaaliad

- Ilmnevad ionosfääri häirumisel
- Võivad teatud laineladel sidet takistada, mõnel soodustada
- Näiteid signaalidest: http://www.vhfdx.net/propsounds.html

Aurooralevi

- Tekib geomagnetilise tormiga
- Põhjustab levi kadumist lühilainel, üle 20 MHz toimub peegeldumine või hajumine
- Kõige sagedasemad kell 16-20
- ULL kuni 70 cm: võimalikud sided kuni 2000 km
- Signaal suunatakse häiritud alasse: Doppleri efekt, signaali moonutus

E-sporaadiline levi (Es)

- Tekitajaks E-kihi alumises osas olevad väikesed ioniseeritud pilved
- Sidekaugus: 500..1400 miili, MUF 27..110 MHz, vahel ka kuni 250 MHz
- Esineb peamiselt suvel mõlemal poolkeral, väiksem aktiivsuse tipp talvise pööripäeva paiku

Tropolevi

- Laine peegeldub troposfääris Maa ja sooja ning külma (või niiske ja kuiva) õhu piiri vahel moodustunud koridoris (kõrgus ca 1,5 km)
- Sagedamini tekib öösiti
- Ühe- või kahesuunaline
- Signaali levikukaugus võib olla mitu tuhat km

Backscatter

- Raadiolaine jõuab kuulajani mitut teed pidi
- Signaal on õõnsa kõlaga ja raskesti loetav
- Märk sellest, et MUF võib olla kõrge
- Kui segab sidepidamist: aitab antenni korrespondendist kõrvale keeramine

Meteoorside

- Raadiolaine peegeldub meteoorist tekkinud ioniseeritud jäljel
- Tee on avatud mõni kümnendik sekundit kuni kümned sekundid
- Parimad tingimused meteoorivoolude ajal
- Sidet peetakse arvutite abil, vahel saadakse vajalik info kätte tükkhaaval mitme seansiga
- Antenn keeratakse meteoorivoolu suunas, vertikaalne suunatus pole tingimata vajalik

Kuuside (*EME*)

- Kasutatakse signaali peegeldumist Kuult
- Levikaugus: igale poole, kus Kuu on nähtav
- Peegeldunud signaal on nõrk: vaja on suuri antennisüsteeme ja suurt saatevõimsust
- Signaali digitaalne töötlemine võimaldab antennide keerukust vähendada

Kuuside antennid



Repiiterside

- ULL sidekauguse suurendamiseks
- Kõrgele kohale paigutatakse releejaam (repiiter)
- Repiiter avatakse (käsi)jaamast saadetud signaaliga
- Repiiter edastab vastuvõetud signaali kas mingil teisel sagedusel või kordab öeldut samal sagedusel pärast saate lõppemist (“papagoi”)
- Repiiteri sagedusel ei peeta tavalist sidet

Echolink

- Internetipõhiselt on seotud repiiterid ja jaamad, saavad osaleda ka amatöörid, kellel jaama pole
- Protokoll: VoIP
- 20 000 kasutajat üle maailma
- http://www.echolink.org

Satelliitside

- Side toimub amatöörsatelliitide kaudu, levikaugus on piiratud satelliidi poolt “nähtava” alaga
- Side pidamiseks on aega mõni minut, saatmine toimub ühel, vastuvõtmine teisel sagedusel
- Doppleri efekt satelliidi liikumisest
- Vaja on nii vertikaal- kui ka horisontaalsihis orienteeritavaid ringpolarisatsiooniga antenne
- Transiiverid: tehakse spetsiaalselt satelliitside pidamiseks
- http://science.nasa.gov/realtime/jtrack/Amateur.html