

Solens utviklings betydning for radiobølgeutbredelse

LA4LN Tom V. Segalstad

Vi radioamatører er avhengige av Solen, fordi den bidrar til våre radioforbindelser over store avstander, både på kortbølge og på VHF. Vi vet at stråling fra Solen skaper ionisering i atmosfærens ionosfære, som reflekterer våre radiosendinger på kortbølge ned til jordoverflaten igjen. Og vi vet at Solen påvirker partikkel-stråling inn mot Jorden, som gir nordlys, som vi kan benytte som reflektorer for lange kontakter på VHF.

Dermed er det ønskelig for oss radioamatører å følge med på hva Solen gjør. Vi er fullstendig klar over at Solens utstråling ikke er konstant, og at vi dermed kan få forskjellig bølgeutbredelse dag for dag, og til og med time for time.

Solens utstråling

Solen sender en enorm mengde stråling mot Jorden, hvor ca. 1370 watt per kvadratmeter treffer Jordens ytre atmosfære. Solskiven har en temperatur på ca. 5500 grader C. Men vi radioamatører har større interesse for

noen **sorte flekker** på solskiven, de såkalte **solflekker**. Disse solflekkene har lavere temperatur, ca. 4000 grader C. Solflekkene ser mørkere ut enn den varmere solskiven, og de sender ut ekstremt kraftig ultrafiolett (UV) stråling.



Fig. 1. Sol-skiven uten solflekker (foto: NASA).

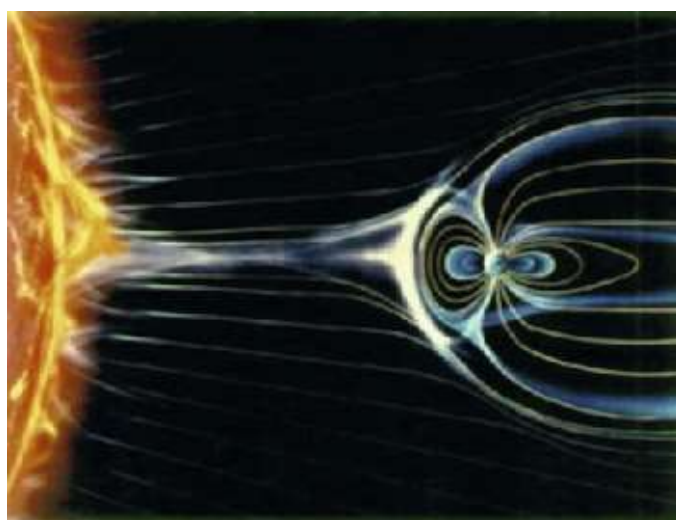


Fig. 3. Solens forskjellige typer stråling treffer Jorden (NASA).

Når UV-strålingen fra Solen treffer Jordens atmosfære, blir Jordens ionosfære (50 til 1000 km over jordoverflaten) ekstra intens. Ionosfæren blir da ekstra god til å reflektere kortbølgesignaler tilbake til Jorden, slik at radiosignalene kan rekke over store områder. Det er derfor en god sammenheng mellom **antall solflekker** og god radiobølgeutbredelse på kortbølge (HF), spesielt for de høyere frekvenser på HF.

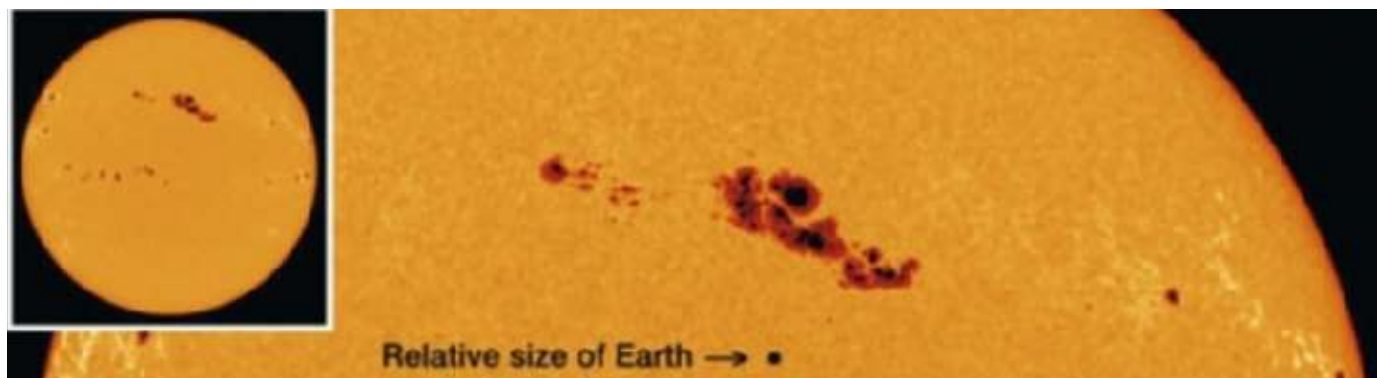


Fig. 2. Solen med solflekker (til venstre), og forstørret utsnitt av de største solflekkene med innlagt Jordens størrelse (liten, svart prikk) for sammenligning (NASA).

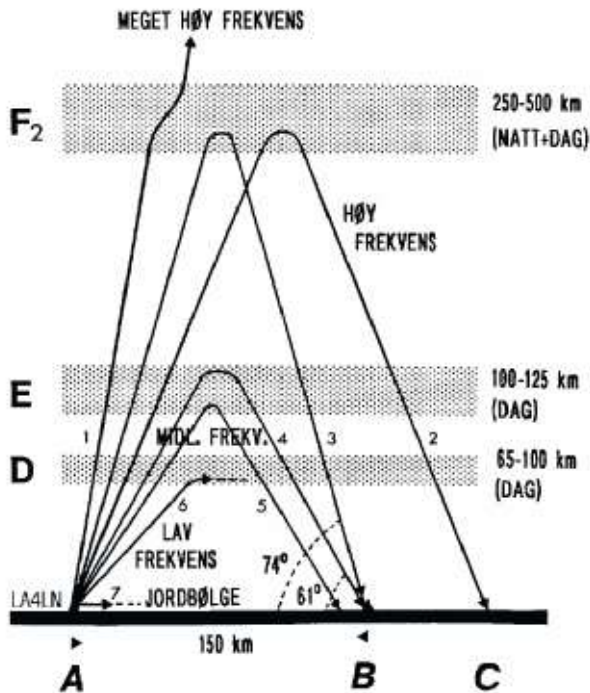


Fig. 4. En forenklet (flat jord) skisse av ionosfærens viktigste lag, og forskjellige typer radiobølgeutbredelse. For at LA4LN ved punkt A skal få kontakt med en stasjon ved punkt B, må det velges riktig frekvens for å få kontakt. En meget høy frekvens (1) vil gå rett gjennom alle lagene i ionosfæren, og vil ikke bli reflektert (egentlig refraktert) tilbake til jordoverflaten. En for høy frekvens (2) vil få et for langt hopp via F2-laget, slik at det kan oppnås kontakt med punkt C, men ikke med punkt B. En for lav frekvens (6) kan enten bli absorbert i D-laget, eller bli reflektert i E-laget, men ikke rekke frem (5) til punkt B. En korrekt høy frekvens (3) vil nå frem til punkt B via F2-laget både dag og natt; og også en midlere frekvens (4) vil kunne nå frem til punkt B via E-laget på dagtid. For det valgte eksempel med 150 km mellom punktene A og B vil ikke jordbølgen (7) kunne rekke frem til punkt B.

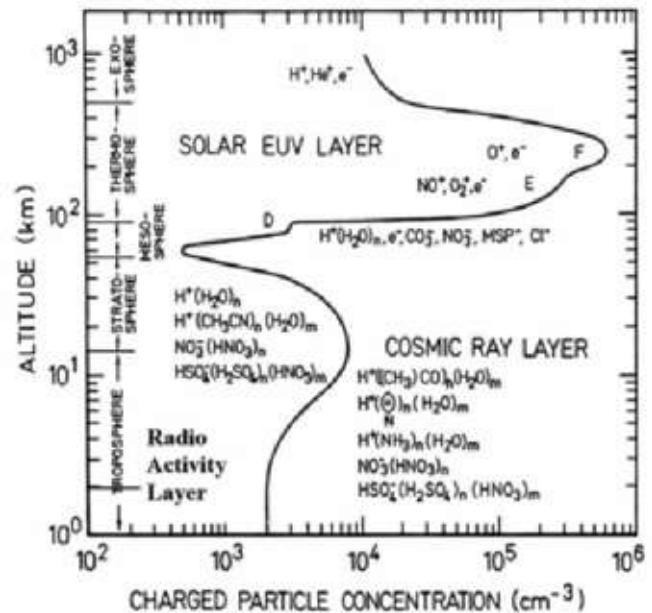


Fig. 5. Kurven viser ione-tettheten i Jordens atmosfære i forhold til høyden over jordoverflaten, og samtidig hvilke ioner som opptrer i de forskjellige høydene. Langs kurven er det tegnet inn de viktigste lagene i ionosfæren: F, E og D, hvor tilstedeværelsen av frie elektroner er indikert med e-. Merk at begge aksene er logaritmiske. Illustrasjonen er laget av Viggiano & Arnold (1995: "Ion chemistry and composition of the atmosphere" i "Handbook of atmospheric electrodynamics", Vol. 1, CRC Press).

Solens UV-stråling med bølgelengde 10 – 1000 Å (1 Å = 1 Ångstrøm = 0,1 nm = 10⁻¹⁰ m) ioniserer **F-lagene**. Bølgelengden 10 – 100 Å ioniserer **E-laget**. Og bølgelengden 1 – 10 Å ioniserer **D-laget** (se Fig. 4).

Strålingen fra Solen treffer de gass-atomer og de vandamp-atomer som befinner seg i luften omkring Jorden. Strålingen vil spalte atomet, slik at negativt ladete elektroner frigis. Da vil det bli igjen en atom-rest som har positiv ladning, det vi kaller et ion. Alternativt frigis et positivt ladet proton, og etterlater et negativt ladet **ion**. Derfor kalles dette laget i atmosfæren for **ionosfæren** (= ione-laget). I Fig. 5 ser vi noen av de ionene som er i ionosfæren, og i hvilke høyder de forskjellige ionene opptrer i. Det er de frie elektronene i ionosfærens forskjellige lag som reflekterer (egentlig refrakterer, d.v.s. avbøyer) radiosignalene.

I tillegg vil **partikler** (protoner og nøytroner) fra Solen utgjøre **solvinden**, som treffer oss med en hastighet på ca. 400 kilometer per sekund. Jordens magnetfelt påvirkes av solvinden og *vice versa*, og kan lage problemer for radiobølgeutbredelsen på HF. Kraftig røntgenstråling

fra Solen kan gjøre at alle HF-radiosignaler absorberes i ionosfæren, og ikke reflekteres. En slik situasjon på radio kalles "**blackout**", og oppstår hyppigst i polare og polar-nære strøk (som f.eks. i Norge).

Måling av Solens aktivitet

For å kunne beregne varsler for radiobølgeutbredelsen på HF, ønsker vi å benytte målinger av solflekker og målinger av Jordens magnetfelt. Antall solflekker har blitt målt siden 1600-tallet. Imidlertid varierer det daglige solflekketallet ganske mye. Derfor benytter man et utjevnet gjennomsnittstall for "Sunspot Number, SSN", når man skal se på de lange variasjonene.

Solflekkene varierer etter en 11-års syklus, kalt en *Schwabe-syklus*. Det viser seg at magnetfeltet på Solen reverseres for hver Schwabe-syklus, slik at det kan være riktig å se på sol-variasjonen som bestående av en 22-års syklus, kalt en *Hale-syklus*, bestående av to 11-års sykler.

Solflekk-syklusens lengde varierer noe, men gjennomsnittslengden av en Schwabe-syklus er 11,1 år. Hver

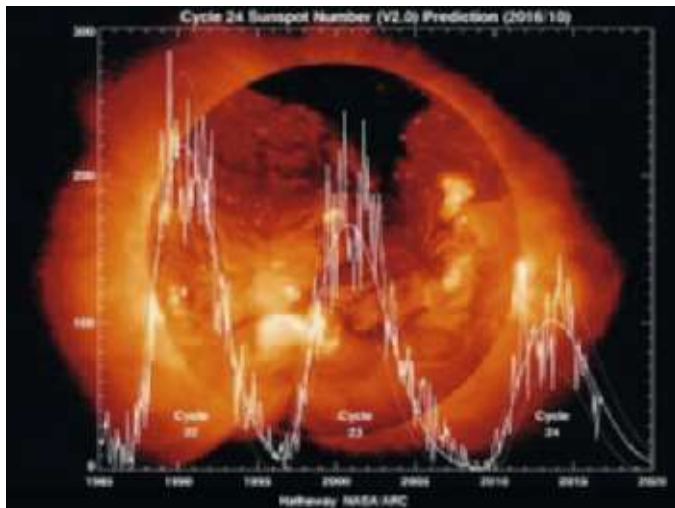


Fig. 6. Utjevnedde solflekk-tall siden 1985 for de 3 siste solflekk-syklusene: Nr. 22, 23 og 24. Vi ser at det er en nedadgående solflekk-aktivitet gjennom disse årene. Fra Hathaway, NASA.

syklus er ikke symmetrisk. Den stiger raskere mot et maksimum i løpet av 4 – 5 år, før den avtar langsommere mot et minimum i løpet av 6 – 7 år.

Vi merker oss fra Fig. 7 at antall solflekker har variert betydelig de siste tre hundre år. Lengre perioder med svært lave solflekk-tall har blitt gitt egne navn, som f.eks. "Maunder minimum" og "Dalton minimum". Se min figur om sol-minima i *Amatørradio* Nr. 6 – 2016 side 40.

Sol-minima og radiobølgeutbredelse

Ved sol-minima reduseres både ultrafiolett lys, synlig lys, og infrarødt lys. Men uheldigvis for oss radioamatører reduseres ultrafiolett lys mest (Lean, 2000: "Evolution of the Sun's Spectral Irradiance Since the Maunder Minimum". *Geophysical Research Letters*, Vol. 27, No. 16, side 2425-2428). Det er dette UV-lyset fra solflekkenes som aktiverer de reflekterende lag for oss i Jordens ionosfære.

Fra Fig. 6 ser vi at solflekk-aktiviteten har vært for nedadgående de siste 3 solflekk-syklus. Utviklingen viser at det har blitt flere og flere solflekk-frie dager. Flere forskere har pekt på at solflekk-syklus nr. 24 (som vi er inne i nå) har likheter med utviklingen før Dalton minimum. (Se min artikkel i *Amatørradio* Nr. 4 – 2011 side 15). Det er derfor flere og flere forskere som forventer at vi nå går inn i et langvarig solflekk-minimum, slik som f.eks. Dalton minimum (fra 1790 til 1840). I de siste tusen år har det vært slike langvarige solflekk-minima i 34% av tiden, mens opphold mellom minima har vart i 66% av tiden. Derfor er langvarige minima ikke noe uvanlig, sett over lang tid, men det vil kunne bli en ubehagelig periode for oss radioamatører, hvis vi nå går inn i et langvarig solflekk-minimum. Det er godt at det er utviklet nye digitale teknikker, som kan gi oss kontakter, selv om ionosfæren er svekket på grunn av Solens svakere stråling med færre solflekker.

Når Solen svekkes, svekkes også dens magnetfelt.

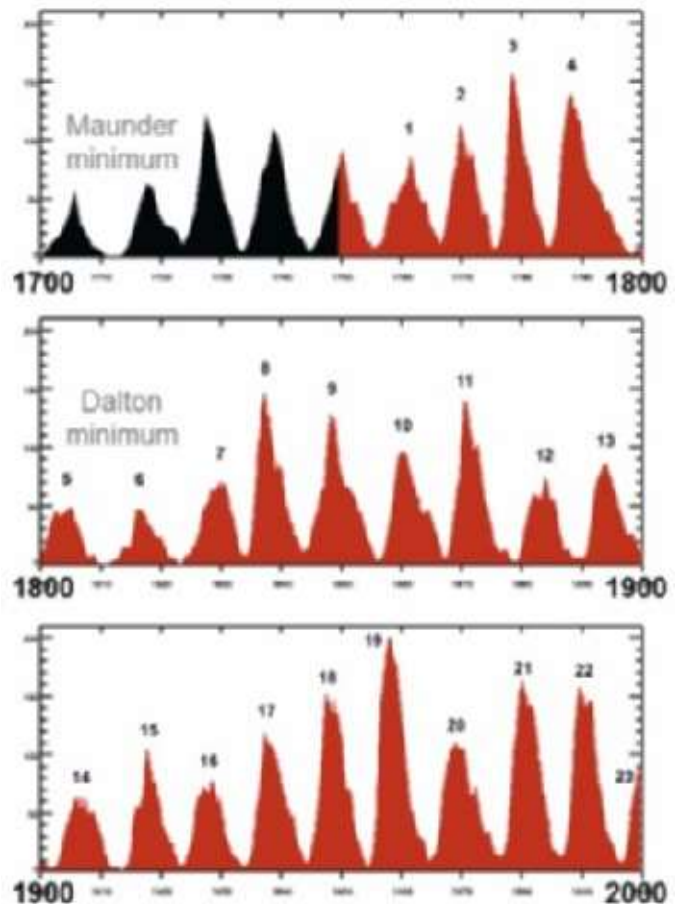


Fig. 7. Utjevnedde solflekk-tall for systematiske tellinger av solflekker siden 1750 (rød farge). Solflekk-syklusene ble nummerert fra den første komplette syklus målt systematisk. De sorte toppene er beregnet ut fra målinger av ^{14}C -isotopen i trærers år-ringer og deres korrelasjon med antall solflekker. Vi merker oss to perioder med få solflekker: Maunder minimum på tidlig 1700-tall, og Dalton minimum på tidlig 1800-tall.

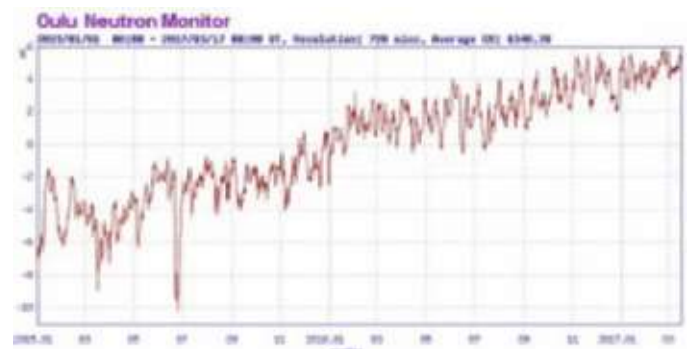


Fig. 8. Målinger av nøytroner fra kosmisk stråling målt i Oulu, Finland, siden januar 2015, viser at den kosmiske strålingen har økt de siste årene, fordi Solens utstråling og magnetfelt har avtatt i styrke.

Solens magnetfelt bidrar til at kosmisk stråling (inkludert forskjellige partikler) avbøyes rundt Jorden, slik at vi treffes av mindre stråling fra kosmos (verdensrommet). Nå når Solens utstråling og magnetfelt blir svakere, vil vi treffes av mer kosmisk stråling. Vi ser i Fig. 8 at telling av nøytroner, som treffer Jorden som del av den kosmiske stråling, har økt ganske jevnt siden januar 2015, i henhold til målinger i Oulu i Finland.

Det triste for oss radioamatører er at den økende kosmiske stråling, som skyldes en svakere sol, bidrar til økt absorpsjon av HF-radiosignaler i ionosfæren. Så "en ulykke kommer sjelden alene", som det heter: En svakere sol gir oss dårligere radiobølgeutbredelse på kortbølge, og samtidig forverres forholdene ytterligere, ved at mer kosmisk stråling gir mer absorpsjon!

Som jeg skrev i HF-spalten i *Amatørradio* Nr. 6 – 2016 side 40: Radiobølge-eksperten K9LA påpeker, at siden Solens magnetfelt nå er svakere enn på mer enn hundre år, kan vi risikere at selv 160 meter blir ubrukelig for lange kontakter, fordi de energi-rike protonene i den kosmiske strålingen vil rekke helt ned til D- og E-lagene i ionosfæren, som normalt gir refleksjoner for så lange bølgelengder som 160 meter.

Men *fordelen* for oss radioamatører er at økt kosmisk stråling gir *mer nordlys (aurora)*, som kan reflektere VHF-radiosignaler for oss! Så om kortbølgen blir dårligere for lange kontakter, kan VHF-båndene bli bedre for lange kontakter!

Solflektall, solarfluksindeks og geomagnetiske indekser



Fig. 9. Telling av solflekker på 1700-tallet: Solens intensitet reduseres og projiseres ved hjelp av et teleskop mot en plate, hvor solflekkene kan tegnes og telles. NB: Det er viktig at man aldri ser direkte mot Solen, for å unngå øyeskade!

Telling av antall solflekker (Fig. 9) er ikke lett på natten eller i overskyet vær! Derfor fant man på å måle intensiteten av solutstrålingen ved 10,7 cm bølgelengde (frekvens 2800 MHz), hvor man fant en lineær korrelasjon mellom denne "solarfluksen" og solflektallet. Solarfluksmålingene er sammenhengende, og mye mer objektivt bestemt enn tellinger utført av en observatør gjennom et teleskop. Solarfluksen har vært målt siden

1947, og har variert mellom **63** og **457**. Målingene nå for tiden (mars 2017) varierer mellom ca. 70 og 85, slik at vi er nær minimum.

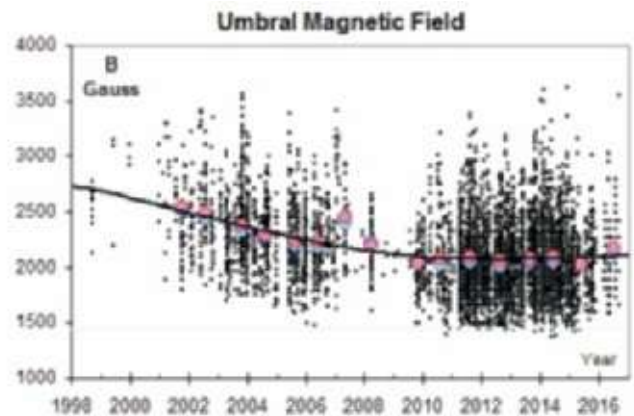


Fig. 10. Magnetfelt målt over solflekker siden 1998 av Livingston & Penn viser en synkende tendens. Når magnetfeltets styrke faller under ca. 1500 gauss, vil det ikke dannes solflekker.

Ser vi på målinger av solflekkenes magnetfelt (Fig. 10), ser vi at magnetfeltets styrke er fallende. Under 1500 gauss er det ventet at solflekker vil forsvinne. I min artikkel i *Amatørradio* Nr. 4 – 2011 side 14-16 viste jeg til en avhandling av Penn & Livingston fra 2010, hvor de ekstrapolerte målinger av magnetfeltets styrke, og forventet at 1500 gauss (og bortfall av solflekker) ville finne sted rundt år 2015. Nå ser vi av Fig. 10 med nyere data at gjennomsnittskurven har flatet ut rundt 2000 gauss, slik at tidspunktet for det totale bortfall av solflekker kan være vanskeligere å forutsi.

Ser vi på målingene av solflekker (Fig. 11) og solarfluksindeks (Fig. 12), ser vi at de er ganske like, slik jeg skrev ovenfor. Den røde streken i diagrammene viser forventede solflektall og solarfluksindeks. Og vi ser at de aktuelle målingene viser en tendens til å skulle gå enda lavere enn forventede tall.

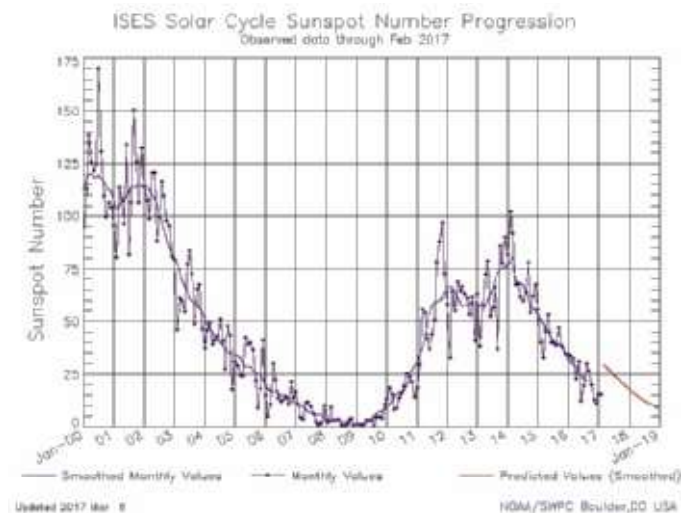


Fig. 11. Utjevnete solflektall siden januar 2000 (fra NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration, USA).

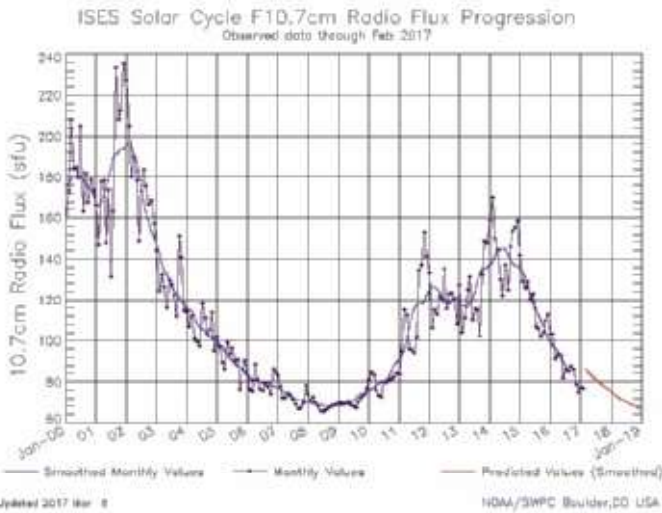


Fig. 12. Solarfluksindeks målt ved 10,7 cm bølgelengde (frekvens 2800 MHz) målt siden januar 2000 (fra NOAA).

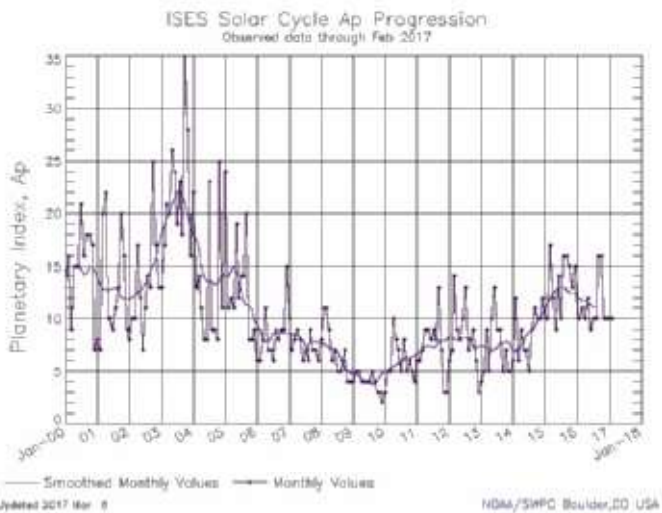


Fig. 13. Planetarisk A-indeks målt siden januar 2000 (fra NOAA).

Partikkel-stråling (både fra Solen og fra verdensrommet) inn mot Jorden vil påvirke Jordens magnetfelt. En rekke observatorier rundt omkring i verden måler indekser for variasjoner i det jordmagnetiske feltet i tre retninger (x, y og z; kalt H, D og Z). **K-indeksen** er et gjennomsnitt av det magnetiske felts forstyrrelser i løpet av 3 timer. K-indeksen er en kvasi-logaritmisk skala, og går fra null (stille) til 9 (kraftig storm, orkan). Som en "tommelfinger-regel" kan vi si at en K-indeks på 4 gir mulighet for å se nordlys på himmelen (forutsatt klarvær) og for å få kontakter på VHF reflektert av nordlyset.

Basert på gjennomsnittet av 8 stk. 3-timers K-indeks, regnes det ut en **A-indeks**, som dermed gjelder for de siste 24 timer. A-indeksen har en linjær skala fra null (stille) til 400 (kraftig storm, orkan).

Sol- og magnet-indeksers betydning for HF-radio

Vi kan nå forutsi hvordan radiobølgeutbredelsen på HF (kortbølge) vil være, basert på solarfluksindeks og A-indeks (eller K-indeks) i Fig. 16.

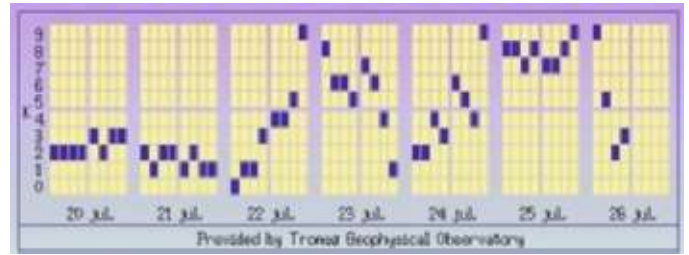


Fig. 14. K-indeks målt av Tromsø nordlys-observatorium fra juli 2004.

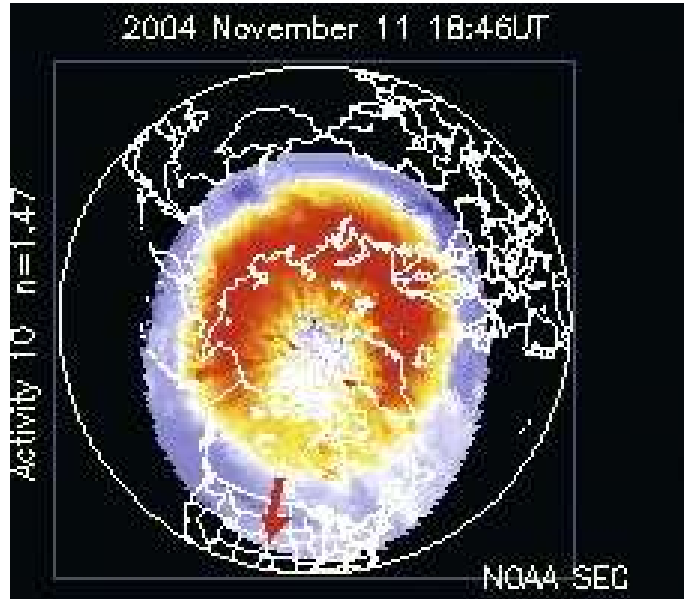


Fig. 15. Kart over nord-kalotten av Jorden (med Nordpolen i sentrum) med varsel fra NOAA om hvor det kan ventes synlig nordlys og sjanser for nordlys-refleksjon av VHF radiosignaler (rød farge) fra 11. november 2004.

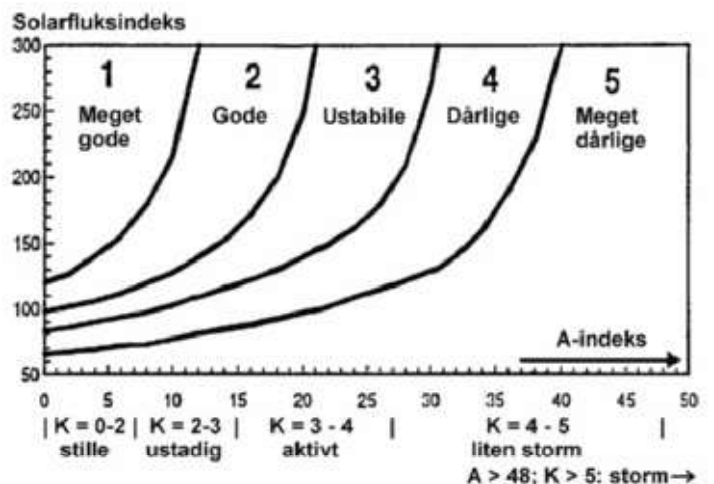


Fig. 16. Sammenheng mellom solarfluksindeks, A-indeks og K-indeks for hvor god eller dårlig radiobølgeutbredelsen kan være på HF (kortbølge). Ved å legge inn aktuelle verdier, havner verdiene i 5 definerte områder for radiobølge-utbredelsens godhet. Fra LA4LN (2005) etter SM4AWC (1994).

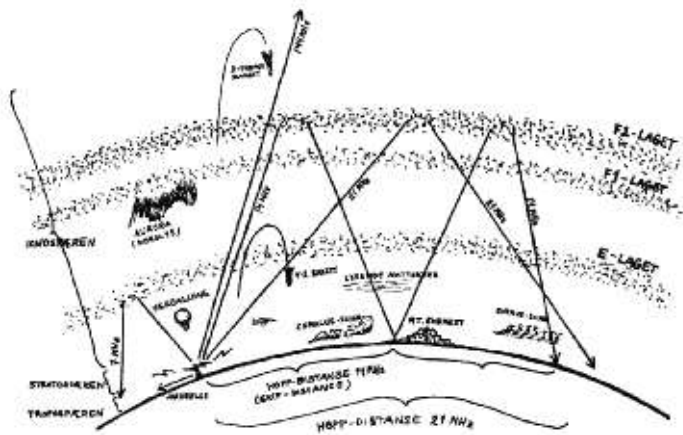


Fig. 17. Flere hopp mellom jordoverflaten og ionosfærelag gir lengre rekkevidde. (LA4LN 1976).

Hvis solarfluksindeksen (SFI) er høy, må det store jordmagnetiske (geomagnetiske) forstyrrelser til, for at radioforholdene på HF skal bli dårlige. Men hvis SFI er lav (som nå), skal det meget små geomagnetiske forstyrrelser til, for å få dårlig radiobølge-utbredelse på HF.

Op og legger merke til fra Fig. 11, 12 og 13, at nå når solaktiviteten har gått nedover den siste tiden (Fig. 11 og 12), øker de geomagnetiske forstyrrelsene (Fig. 13), slik jeg har beskrevet tidligere.

Flere hopp

Vi så fra Fig. 4 at de forskjellige reflekterende lagene i ionosfæren plukker ut forskjellige deler av vårt radiosignal, og behandler dem forskjellig. De forskjellige lagene vil styre hvilke vertikale utstrålingsvinkler som vil være virksomme.

For lengre rekkevidder enn bare ett hopp kan gi, kan vi vurdere flere hopp mellom jordoverflaten og ionosfærelaget. F.eks. fra Oslo til Newfoundland må vi basere oss på 2 hopp, og for å rekke Puerto Rico må vi ha 3 hopp mellom jordoverflaten og F₂-laget i ionosfæren.

For **lange distanser** vil vi måtte ha antenner som gir utstråling ved ganske **lave vertikale utstrålingsvinkler**, fordi det er der ionosfærelaget tillater radiobølge-utbredelse over slike distanser. Derfor bør vi velge antenner, polarisasjon og antenne-høyder som favoriserer ønskede vertikale utstrålingsvinkler.

Målinger av vertikale utstrålingsvinkler har vist at vinklene endres i takt med ionosfærelagets høyde på forskjellig tid av døgnet, og også med antall solflekker. Generelt gir lave solflekk-tall lave vertikale utstrålingsvinkler.

ARRL har publisert målinger av vertikale utstrålingsvinkler mellom USAs østkyst og England på 20 meter bølgelengde (14 MHz). Med solflekk-tall (SSN) på 160 ble vertikal utstrålingsvinkel målt mest rundt 12 grader.

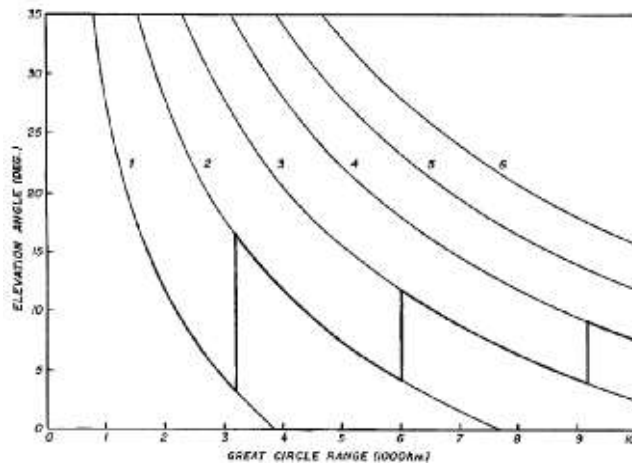


Fig. 18. Sammenheng mellom vertikal utstrålingsvinkel (Y-aksen) og nødvendige antall hopp mellom jordoverflaten og ionosfærens F₂-lag for å få rekkevidde over en bestemt distanse (X-aksen) (fra ARRL).

Men med solflekk-tall på bare 5 ble vertikal utstrålingsvinkel målt til mest rundt 5 grader. Med så svak sol vi har nå, vil de radioamatører med antenner som gir lave vertikale utstrålingsvinkler ha en betydelig fordel i jakten på sjeldne DX-stasjoner.

Vi ser i Fig. 18 sammenhengen mellom vertikal utstrålingsvinkel og nødvendige hopp mellom jordoverflaten og ionosfærens F₂-lag for å få rekkevidde over en bestemt distanse. F.eks. fra Oslo til Mexico er det ca. 9000 km. For å nå Mexico med bare 3 hopp, behøves en vertikal utstrålingsvinkel på bare ca. 4 grader. Eller, hvis ionosfæreforholdene tillater 4 hopp, vil vertikal utstrålingsvinkel være litt under 10 grader. Her ser vi at antenner med lav vertikal utstrålingsvinkel er nødvendig for å få gode kontakter langt unna (såkalt DX = "distance").

Konklusjon

Sol-data viser at solflekk-aktiviteten er for nedadgående, og det er en reell mulighet for at vi kan være på vei inn i et langvarig solflekk-minimum. Dette vil gi dårlig radiobølge-utbredelse på kortbølge, spesielt på de høyere HF-frekvenser (kortere bølgelengder), men kanskje også på de lavere HF-frekvenser (lengre bølgelengder) helt ned til 1,8 MHz (160 meter). Dette fordi lavere solarfluksindeks kombinert med høyere A- og K-indeks gir meget dårlige forhold for radiobølgeutbredelse. Imidlertid kan høyere A- og K-indeks gi bedre mulighet for kontakter på VHF via nordlyset (aurora). På kortbølge vil antenner med lave vertikale utstrålingsvinkler være en betydelig fordel for å oppnå lange kontakter (DX).

Opplysninger om aktuelle data for solflekk-tall, solarfluksindeks, A-indeks og lokal K-indeks (Dombås og Tromsø) og aurora-varsel, med mere, kan finnes på websiden "Realtime Monitor" (laget av LA7SL & LA4LN): www.tinyurl.com/radiohjelp.

Denne websiden har vært i drift siden mars 2001, og bruker en eldre JAVA-versjon, som vil bli forsøkt oppdatert etterhvert.