

*RIS 2005*

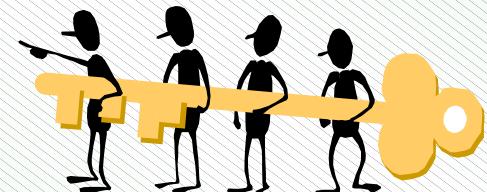
*Sevanje in razširjanje  
elektromagnetnega valovanja  
nad 30MHz*



Stanko  
S55AW  
[s55aw@qsl.net](mailto:s55aw@qsl.net)

# **VSEBINA**

- Teorija EMV, sevanje in razširjanje
- Propagacijski indeksi
- Troposferske zveze
- Ionosferske zveze
- Odboji od objektov



**RIS 2005**

# ***Elektromagnetno valovanje***

Elektromagnetno valovanje (EMV) je istočasno širjenje spreminjačega se električnega in magnetnega polja v prostoru.

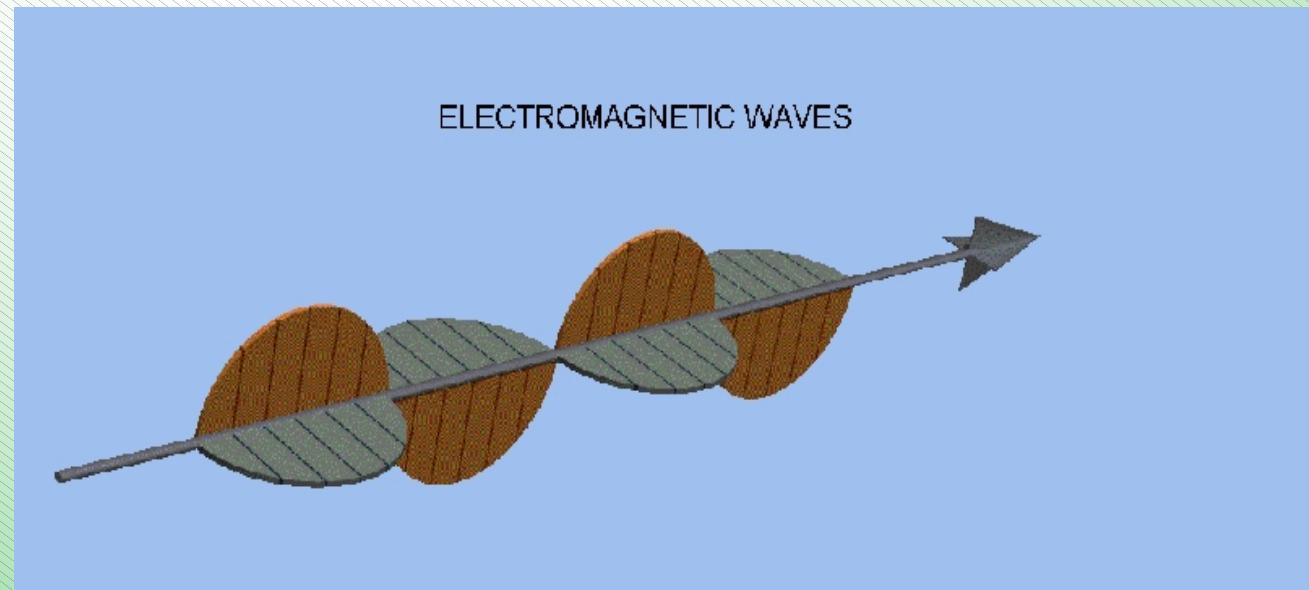
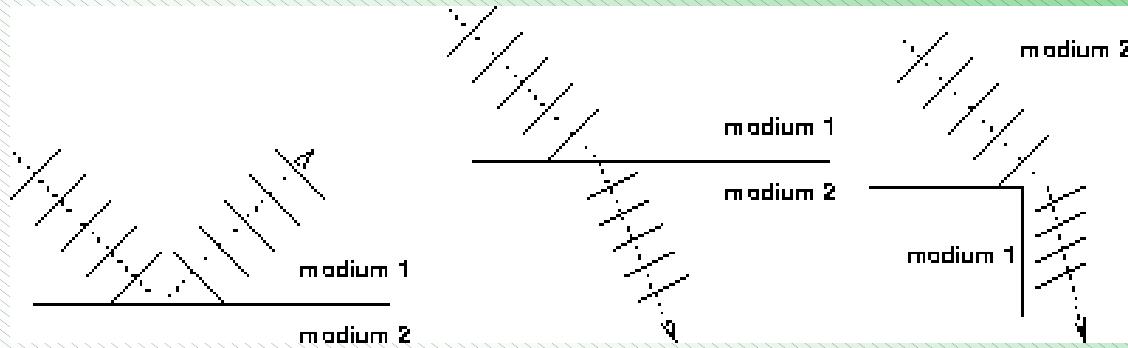
Vektorja električne poljske jakosti ( $E$ ) in magnetne poljske gostote ( $B$ ) sta pravokotna drug na drugega, smer širjenja pa je pravokotno na ploskev v kateri ležita vektorja  $E$  in  $B$ .

$$C_0 = (299793 \pm 0,00004) \times 10^8 \text{ m/s}$$

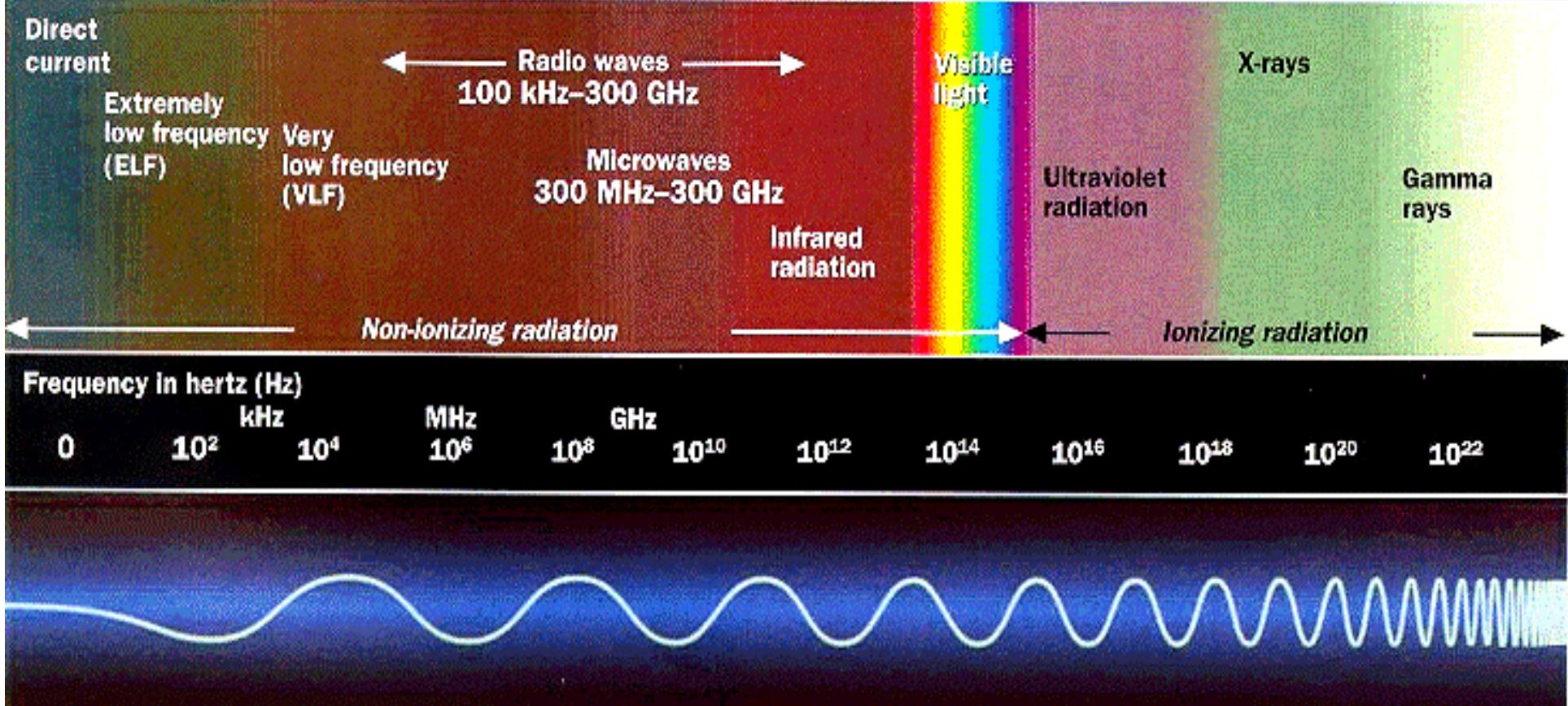
$$C = C_0 / n$$

# *Elektromagnetno valovanje*

odboj  
lom  
uklon  
sipanje



# Frekvenční spekter



# *Slabljenje EMV*

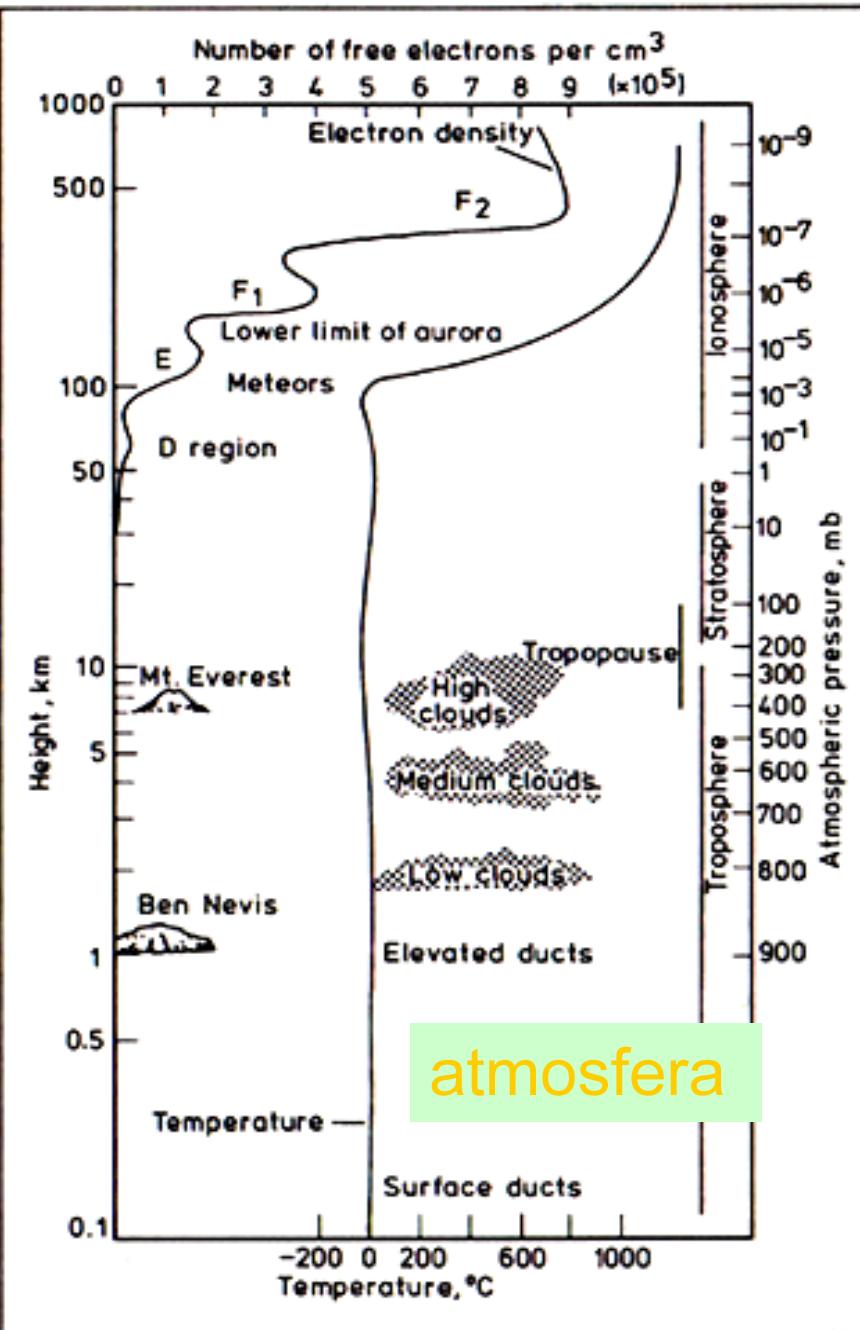
$$L = \lambda^2 / (4\pi R)^2$$



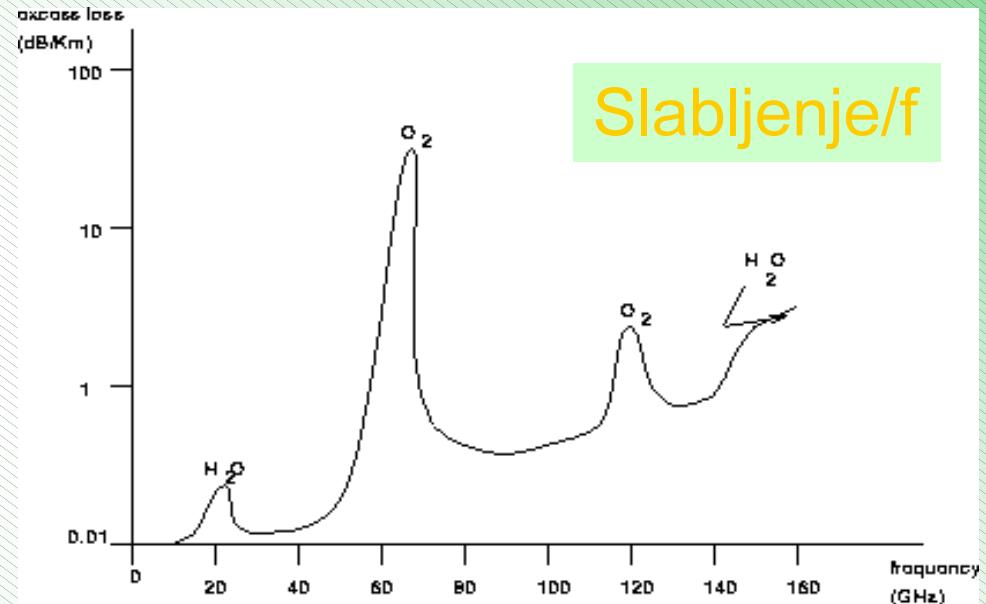
$$L = 20\log_{10}R + 20\log_{10}F + 32.45 \text{ [dB]}$$

R [km], F [MHz]

- 1x večja razdalja >>  $\frac{1}{4}$  oz -6dB
- 3x višja frekvenca >> -9.5dB



# RAZŠIRJANJE EMV

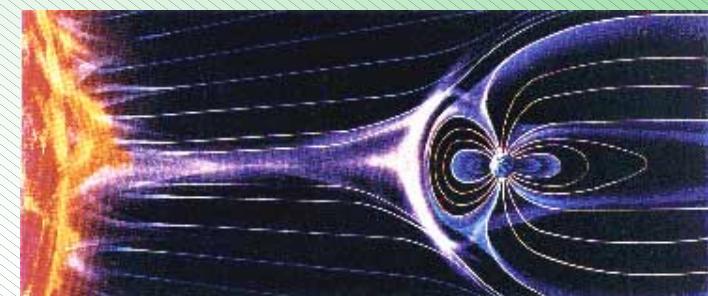
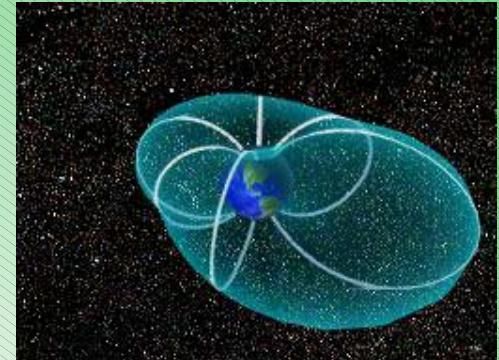


**MUF, LUF**

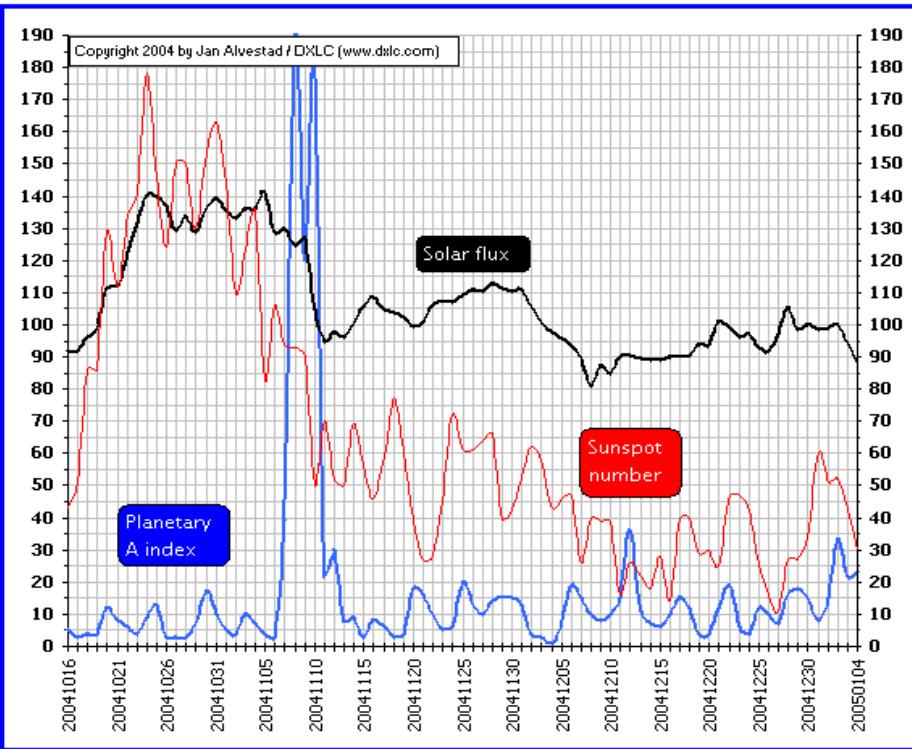
**RIS 2005**

# *Propagacijski indeksi*

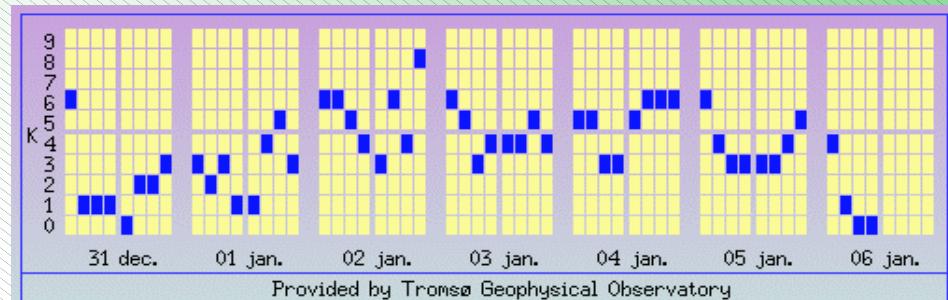
- SSN – število sončnih peg - Sun Spot number (bolj kot je aktivno sonce, večja je ionizacija) 0 – 200+
- SFI (Solar Flux) – meritev radijskih signalov s sonca; enkrat na dan na 2800 MHz (10.7 cm). Povečan šum pomeni večjo ionizacijo, vrednosti so v korelaciiji s SSN /med 60 (SSN=0) in 300/
- K indeksi predstavljajo geomagnetne pogoje (sončni delci (veter), ki vplivajo na zemeljsko magnetno polje)
  - K indeks - v 3 urnem intervalu, lokalni, 0 – 9
  - Ks indeks (odprav motenj s pomočjo konverzacijskih tabel), 28 vrednosti: 0o, 0+, 1-, 1o, 1+, 2-, 2o, 2+, ... , 8o, 8+, 9-, 9o
- A indeksi so izpeljani iz K indeksov in prevedeni v linearno skalo (nT), 0 - 400
  - Običajno med 4 in 50, vrednosti pod 10 – zelo dobri pogoji na HF, višje vrednosti > povečana absorpcija



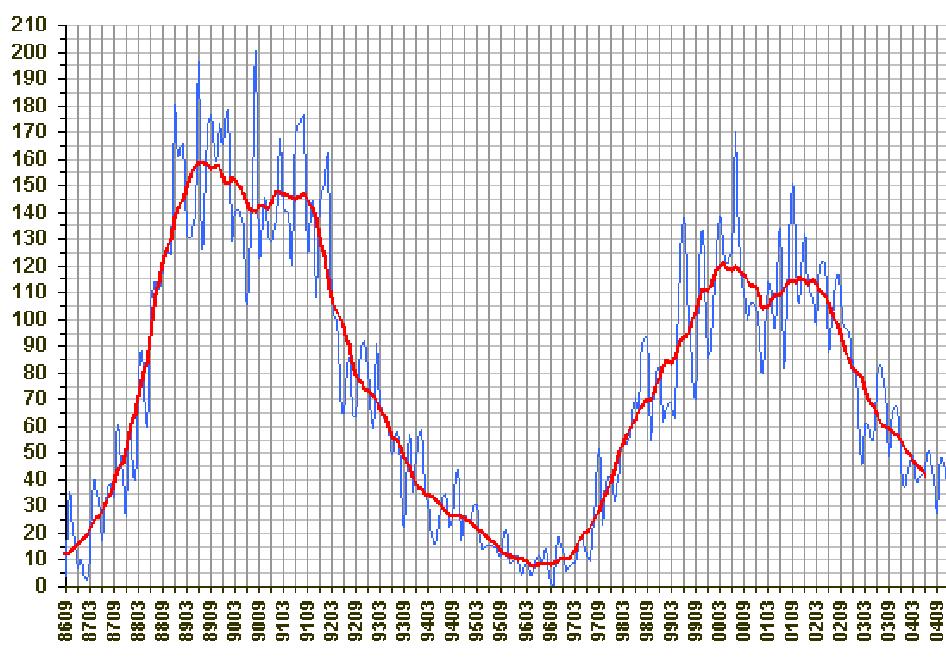
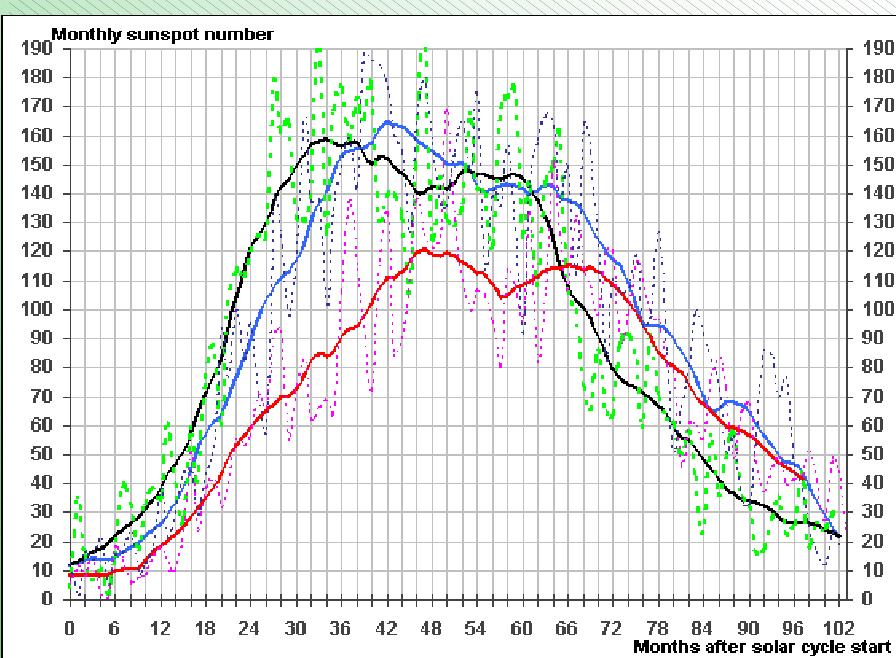
Ionospheric condition	K index	A index
Quiet	0-1	0-7
Unsettled	2	8-15
Active	3	16-29
Minor storm	4	30-49
Major storm	5	50-99
Severe storm	6-9	> 99



# *SFI, SSN, K in solarni ciklus*



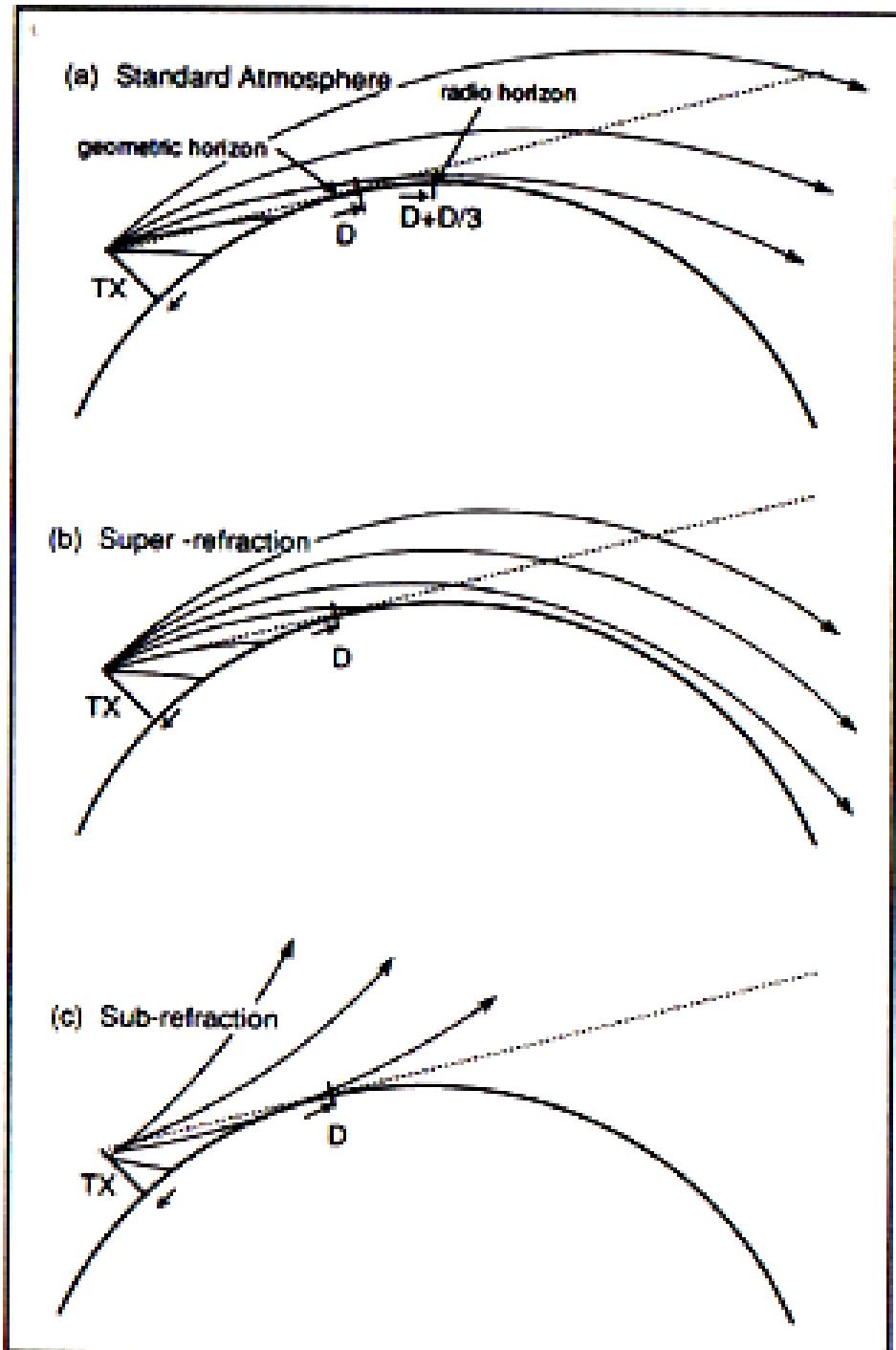
Solar Cycles 22-23



# *Troposfera*



- LOS
- Sipanje EMV v troposferi ("tropo scatter")
- Valovod (tunel – "ducting")
- Sipanje EMV od dežnih kapljic ("rain scatter")
- Odboj od sledi strele ("Lightning scatter")



# RAZŠIRJANJE EMV



$$a_e = 6370 [1 - 0.04665 \times e^{0.005577 N_s}]^{-1} \text{ (km)},$$

Ns - lomni količnik f (T, P, p)

(T = 300K, P = 1000mb)  
dobimo  $a_e = 8470 \text{ km}$  oz  
 $a_e = 4/3 a < 50 \text{ GHz}$

RIS 2005

# *Troposferske propagacije*

- Direktna zveza (Line of sight); (odvisno do višine TX in RX; 1. Fresnelova cona).
- Sipanje (Tropo-scatter) v troposferi
  - uklon valov nazaj proti zemlji zaradi vplivov atmosfere; vlažnost igra pomembnejšo vlogo kot temperatura in zračni pritisk); signali bodo imeli QSB, →
- Lom na ostrih ovirah
- Valovod →

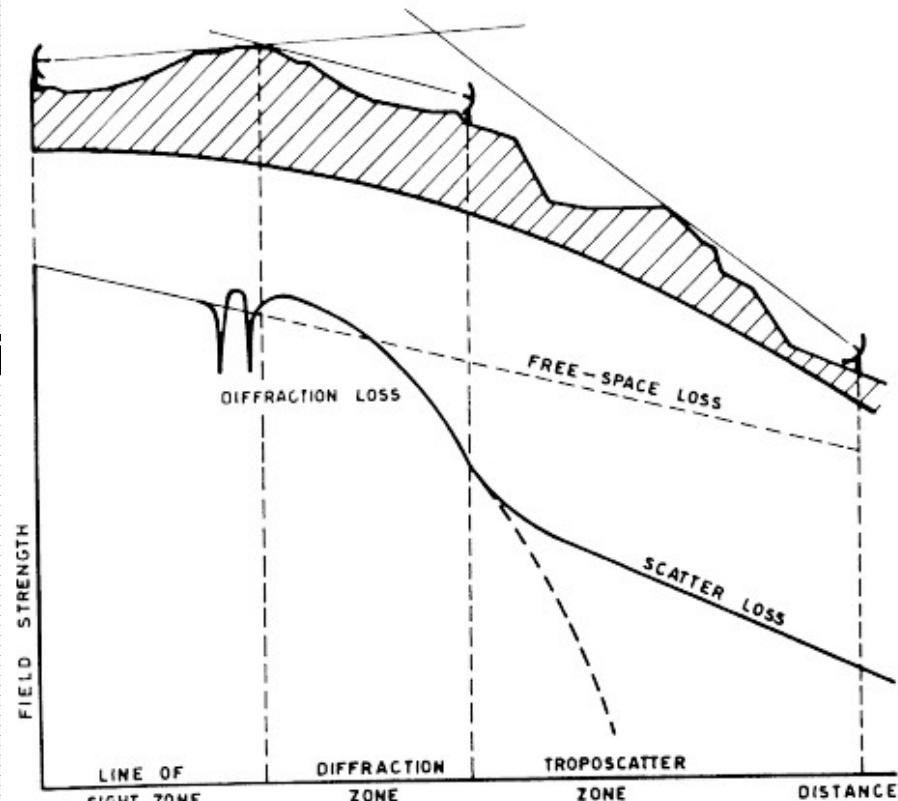


Fig. 1.1 From line of sight to troposcatter.

30-50 km -->I

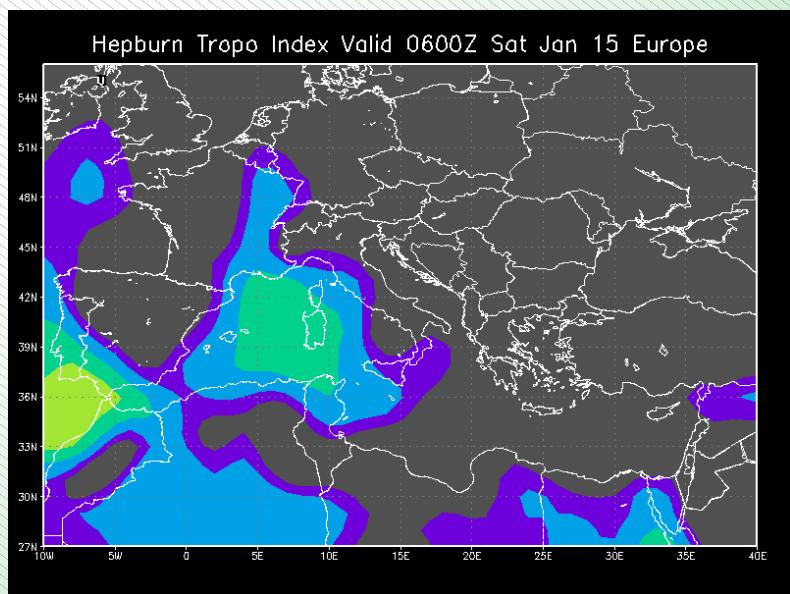
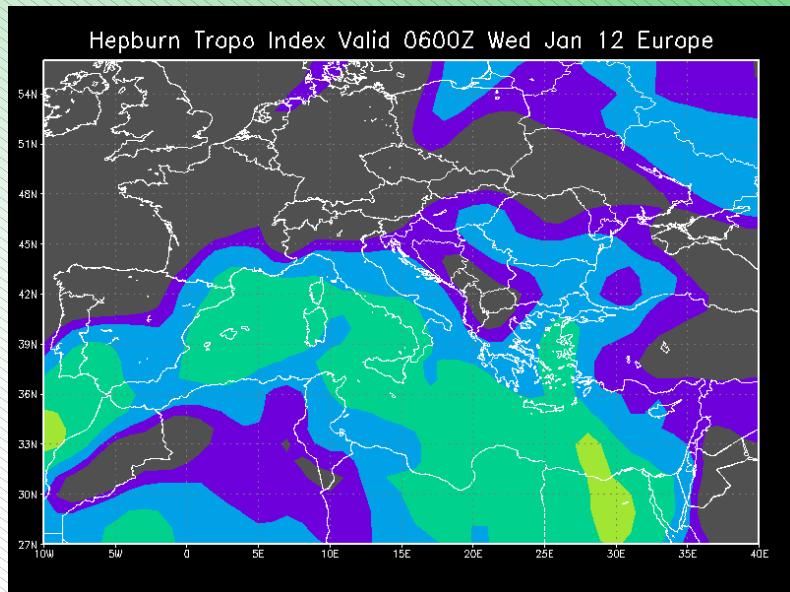
100 km-->I

Real DX >> 1.000 km

Roda, Troposcatter Links, Fig 1.1

# **"Valovod"**

- med zemljo in plastjo inverzije (ni zvezne spremembe Ns) - "surface duct" ali
- med dvema plastema zraka – elevated duct – zemeljski tropo
- dobri signali, izredne razdalje (Hawai – Kalifornia = 4000km)
- največkrat preko morja (EA8-F, G ali EA-I)
- geografsko omejen
- minimalni presek "valovoda":
  - 50MHz – 400m
  - 144MHz – 200m
  - 432MHz – 100m
  - 1.3GHz – 50m



.....

# *Sipanje v troposferi (Troposcatter)*

- majhne spremembe NS (turbolenca, veter, ..)
- vedno prisoten od 50MHz do 10GHz
- na zveze 700+ km ima čas vzpostavitve majhen vpliv
- troposcatter je na voljo 24/365

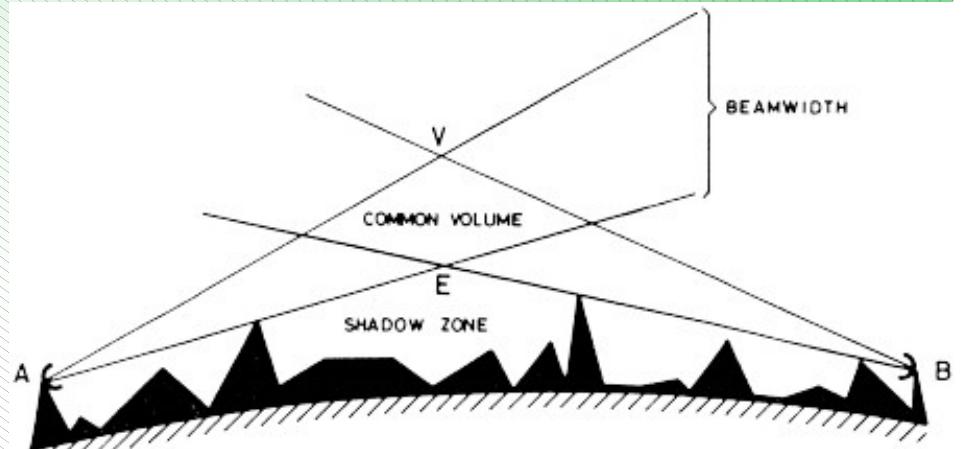


Fig. 4.4 Profile of a typical troposcatter path.

$$L_{SC} = k .. + 20 \log_{10} R + 30 \log_{10} F + 32.45 + 10A - 0.2Ns \text{ [dB]}$$

R [km], F [MHz], A [kot sipanja/°], Ns [lomni količnik], Yeh

$$Ns = 77.6/T (P + 4810 \times p/T)$$

T – absolutna temperatura (K)

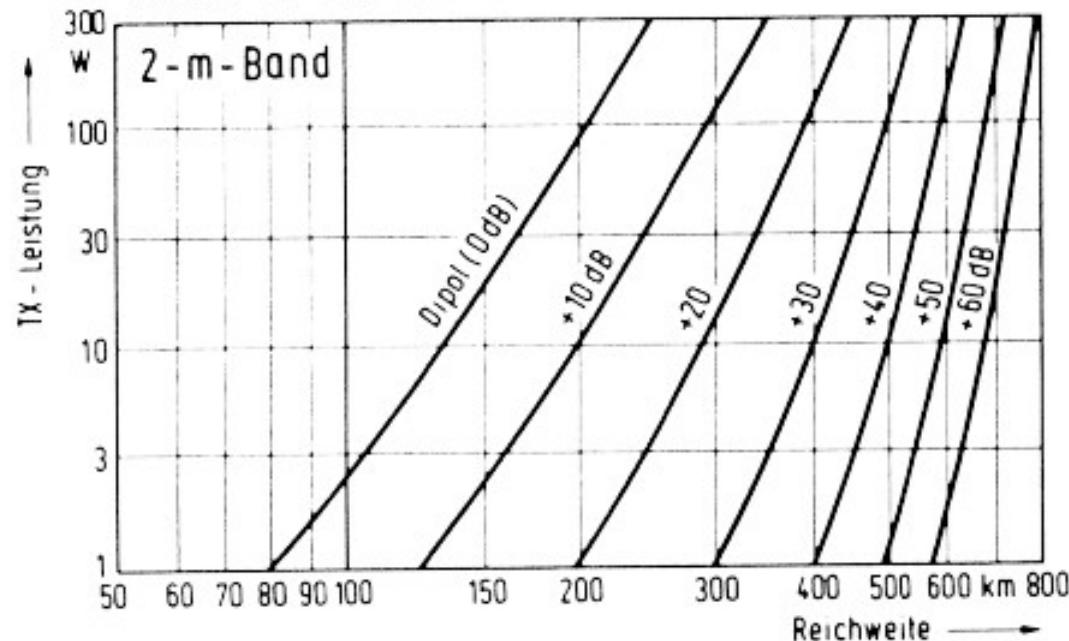
P – skupni tlak vseh plinov (mb)

p – delni tlak vodnih hlapov (mb)

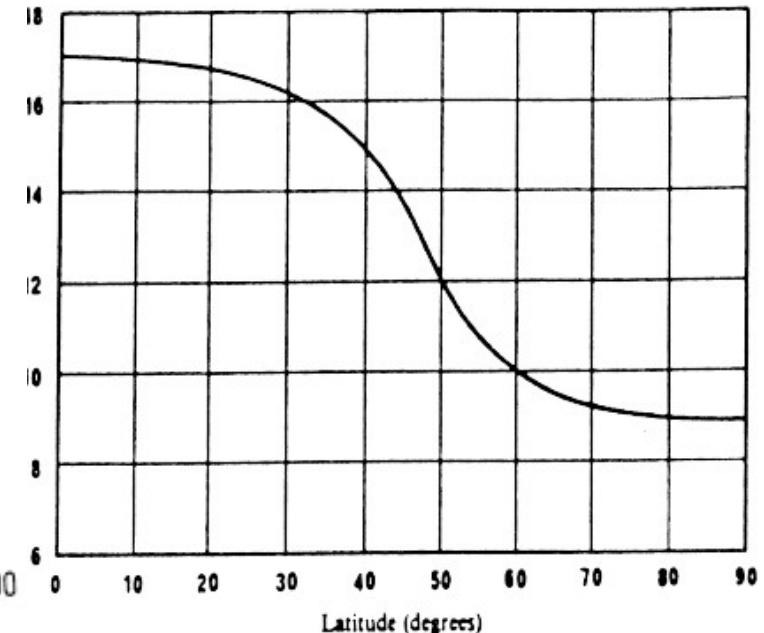
- moč signala varira do 20dB na razdaljah do 300km in le nekaj dB na razdaljah preko 500km.
- kot sevanja mora biti čim manjši, saj vsaka stopinja prinese 9-12dB izgubo ( $>10 \lambda$ ), če je raven teren

# Tropo

RX - Rauschzahl = 2,5 dB, RX - Signal/Rauschabstand 10 dB bei  
SSB mit 2,8 2,5 kHz Zf - Bandbreite



Pričakovni QSO, f (P in antene)



Spreminjanje višine tropopavze poleti

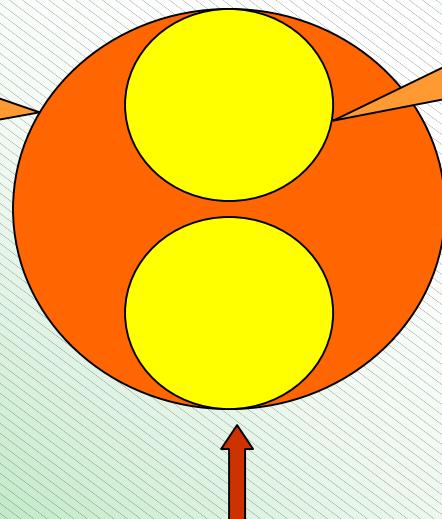
Spreminjanje RX signala rešujemo z več antenami na razdalji 50-100 λ

# *Sipanje EMV od dežnih kapljic (RS)*

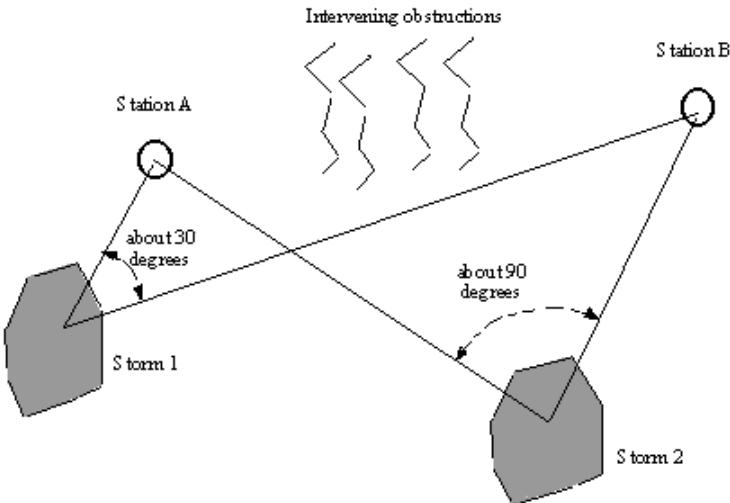
- dežni delci v meigli .001 – 0.01  $\mu\text{m}$ , v oblakih .001 mm do .1 mm (10 GHz ne, 95 (35) GHz radar, pač)
- dežne kaplje 0.5 mm do 3 mm >> 1/60 do 1/10  $\lambda$  (10 GHz)
- na 5 GHz pričakujemo 1/16 signala (1/2 freq,  $P^{1/4}$ ) >> - 12 dB
- na 3 GHz 1/81 signala >> - 19 dB

diagram odboja signala,  
ki je ortogonalen na  
vpadno ravnino - VER

diagram odboj signala, ki  
je vzporeden z vpadno  
ravnino - HOR



# *Sipanje EMV od dežnih kapljic (RS)*



- omogoča zveze do približno 800km (10-12km)
- običajna oprema: 1 W / 45cm parabola
- signali so močno popačeni pri stranskem ali povratnem odboju, manj pri nadalnjem
- dopplerjev efekt (tudi do 5kHz)
- oblaki z ledenimi delci niso zanimivi za 10GHz, lahko pa predstavljajo potencialni odboj za 24GHz (ob predpostavki, da ni pod njimi dežnih oblakov!)

# *Odboj od sledi strele – "Lightning scatter"*

- podobno kot MS
- strele povzročajo ionizacijo
- 100-500MHz
- > 600km (15km)
- trajanje <1sec



Image: <http://www.atmos.umd.edu>

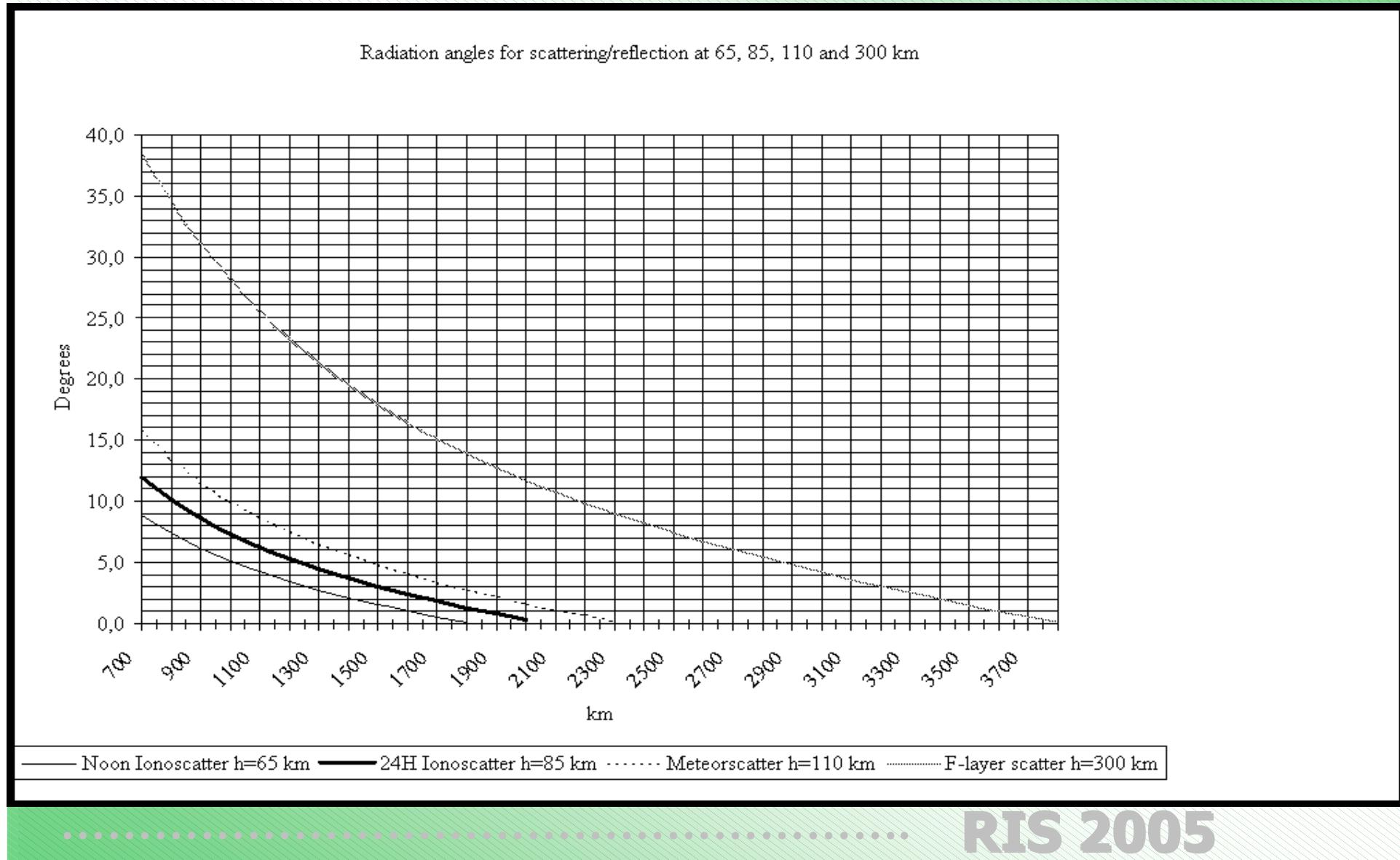


# *Ionosfera*



- F2
- Sporadičen E sloj ("sporadic E-skip") - ES
- Sipanje v ionosferi "ionosphere scatter" - IS for 50 MHz
- Odboj od metoritskih sledi ("meteor scatter") - MS
- Aurora -AU
- Trans-ekvatorialna propagacija ("trans equatorial propagation) - TEP
- FAI (field aligned irregularities)
- *Večkratni odboj (skok) - multi hop*

## Odvisnost med razdaljo in potrebnim kotom elevacije (glede na različne višine odbojne plasti) – odboj na sredini prenosne poti

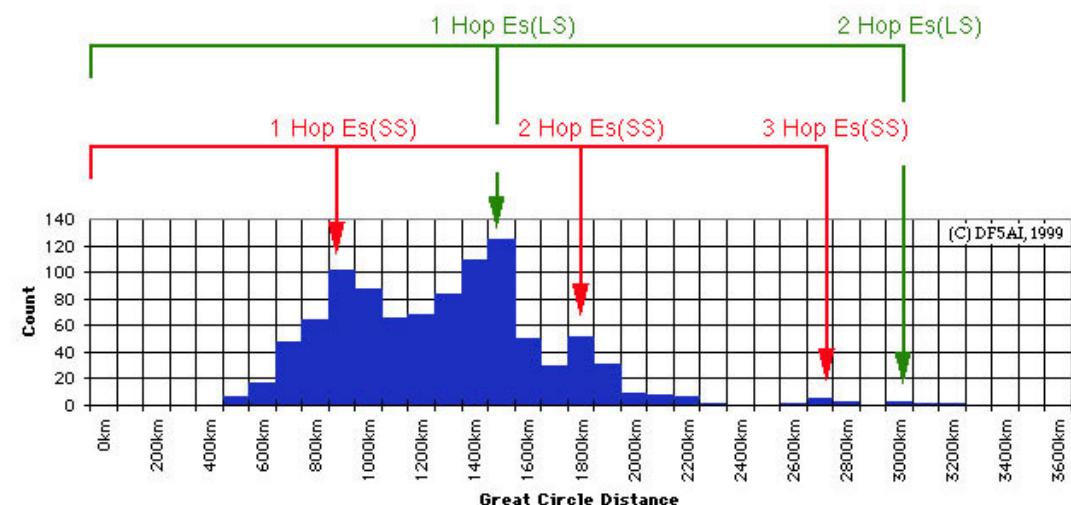
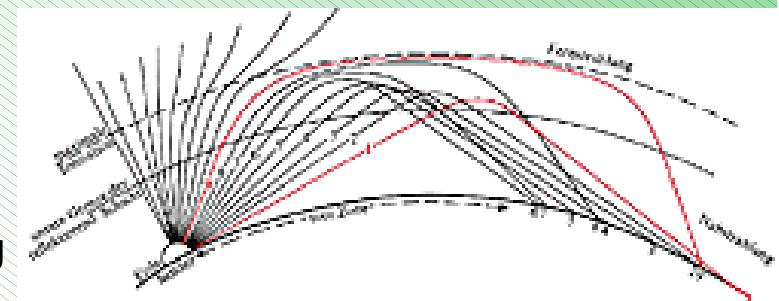


# ES

- ES povzroča nestabilnost plazme v ionosferi (kar v teoriji ni enako ionizaciji!)
- povečana koncentracija ionizacije atomov kovin (magnezij, železo)
- Es povezujejo z nevihtami, vetrom, metorji, sončno aktivnostijo in geomagnetno aktivnostjo zemlje
- do maks 300MHz
- v poletnih mesecih (v letu 2004 je bilo v EU takih 26 dni, dk5ya)
- maksimalno 2500km

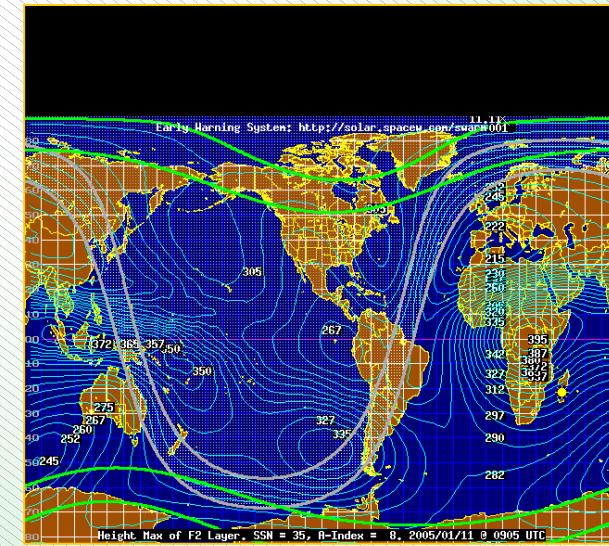
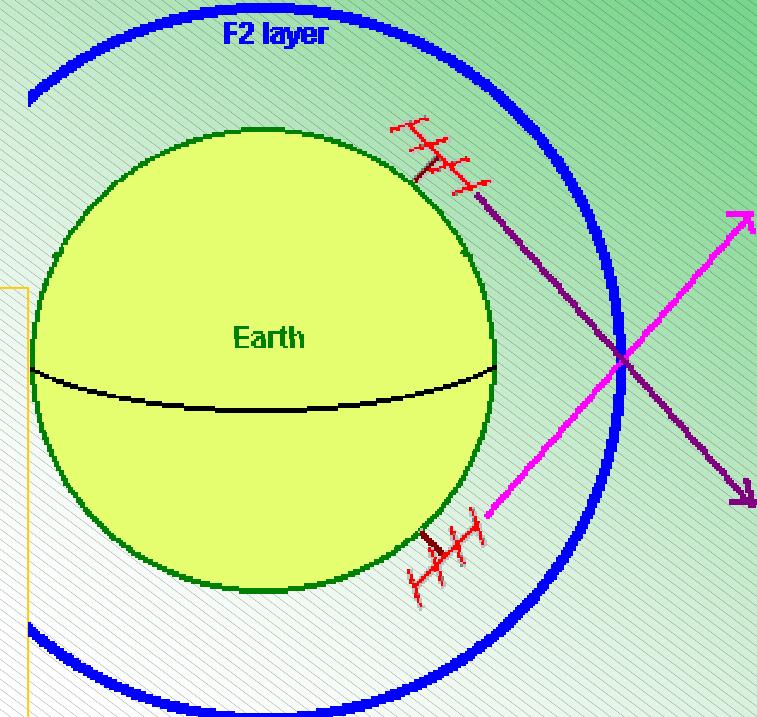
$$MUF = f_s \cdot \sqrt{\frac{1 - a \cdot \sin^2 \psi_s}{1 - a}}$$

$$MUF \approx 5.7 \cdot f_{crit} \quad (h = 105 \text{ km})$$



# F2

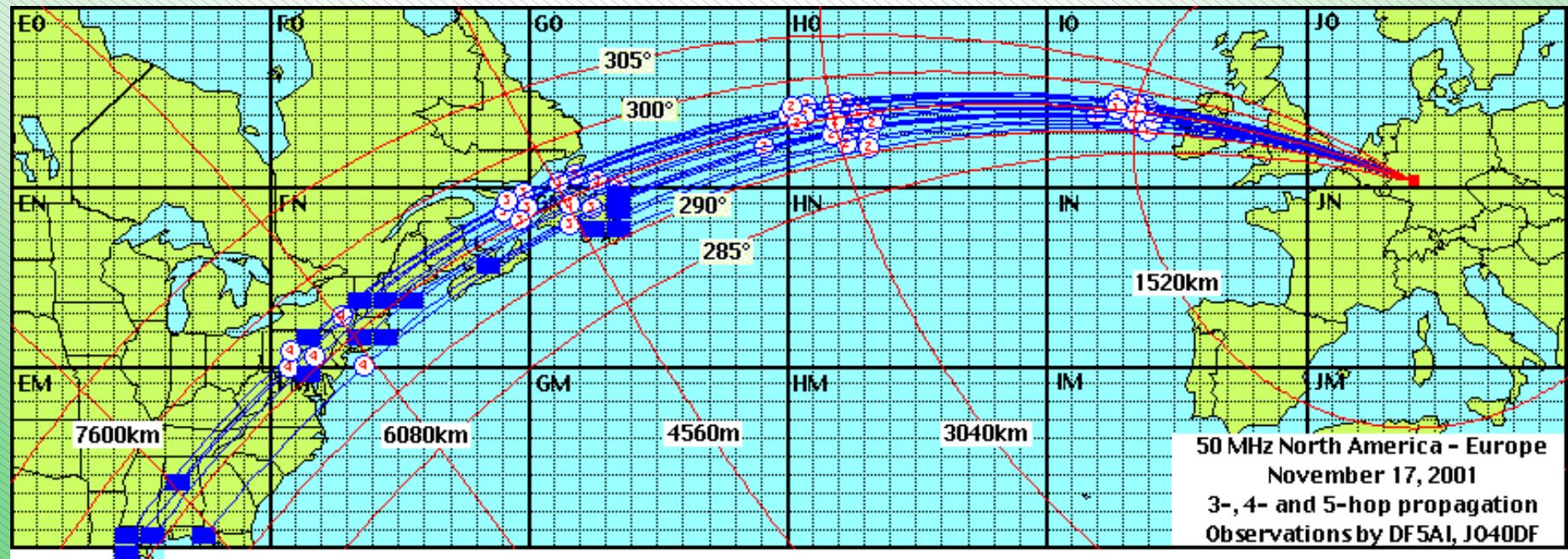
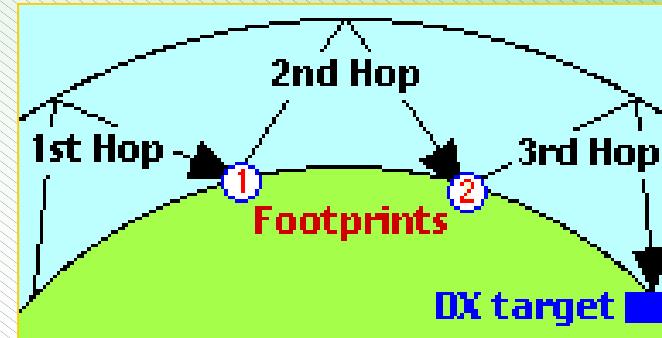
- maksimalna frekvenca, ki se odbije of F2 sloja je odvisna od:
  - stopnje ionizacije
  - vstopnega kota
- v času maksimalne aktivnosti sonca
- redko na 50MHz, obstaja do >60 MHz)
- $v=250\ldots400$  km
- 3000..12000 km
- odpiranje traja tudi nekaj ur podnevi



RIS 2005

# Večkratni odboj (skok) - multi hop

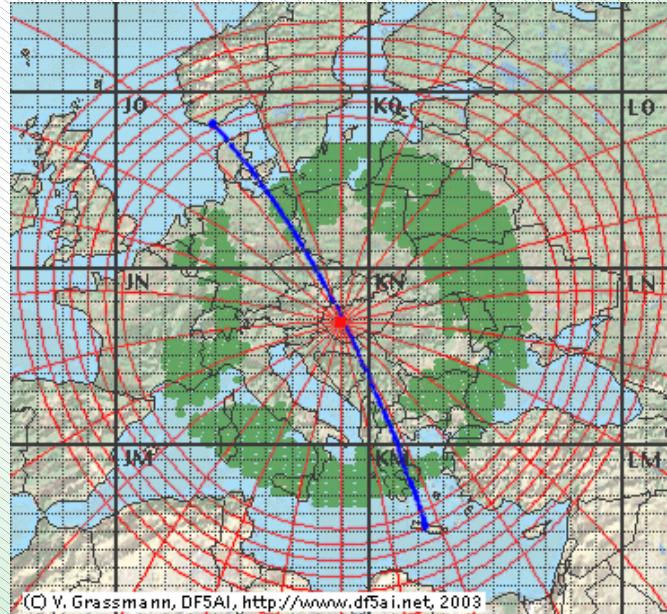
1x, 2x, 3x ES, F2, MS?



Slike so last df5ai

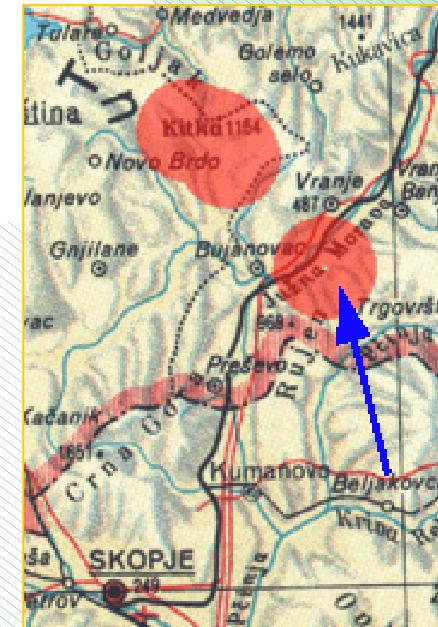
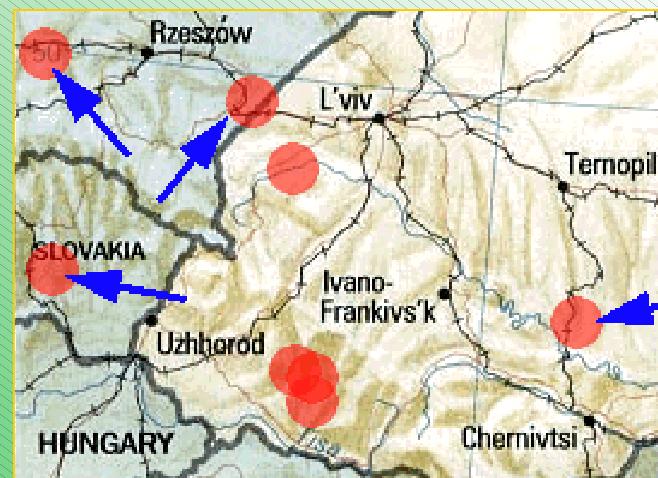
RIS 2005

# *Večkratni odboj (skok) - multi hop*



## Študija df5ai

- morje
- jezera
- reke
- železniški tiri



Slike so last df5ai

**RIS 2005**

# *Sipanje v ionosferi "iono scatter"*

- 24 ur/dan
- odboj v ionosferi (70-90km – D sloj)
- izbruhi na soncu močnejša ionizacija D sloja
- spreminjanje moči signala cca 10dB
- po drugi svetovno vojni, tipično MIL (cca 50kW, 20dBd za 99.9%) - pri 50% - cca 25dB manj >>1kW, 10dB
- najboljši rezultati: 30-60MHz (50, možno tudi 144MHz)
- moč odboja pada z  $1/f^{7.5}$
- 144 MHz v zelo dobrih pogojih (poletje, čas okrog poldne)
- 144 MHz zahteva skoraj 30 dB več kot EME

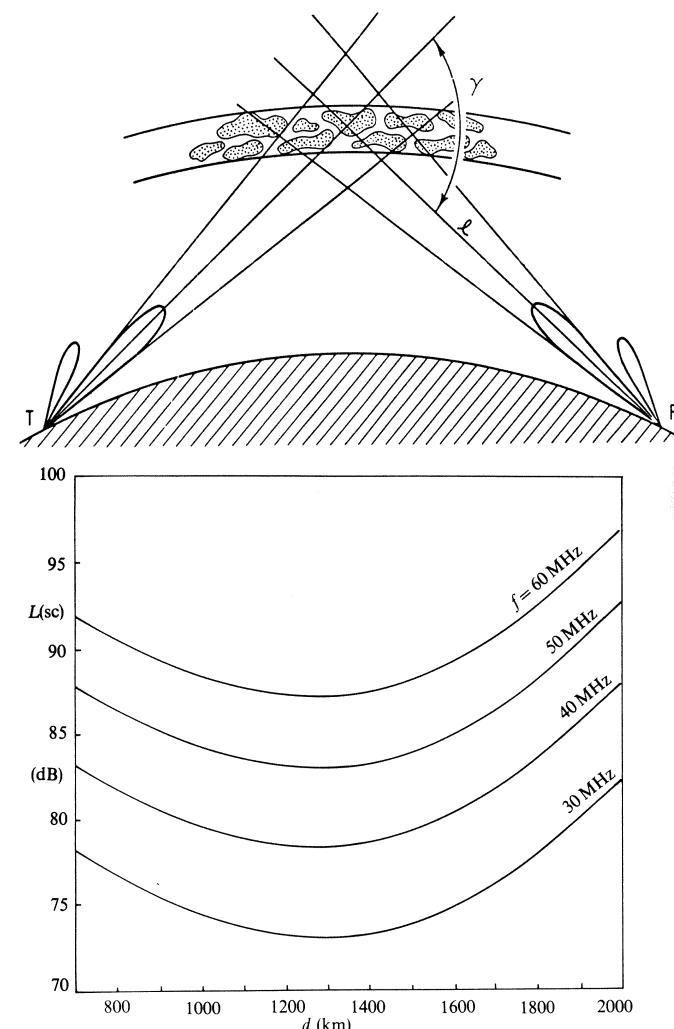


Fig. 7.10 Typical annual median values of ionoscatte... loss  $L(\text{sc})$ .

# *Kako prepoznati Iono?*

- **TR - elevacija 0 stopinj**
- **MS kratkotrajni odboji (do nekaj minut), do 40dB močnejši signal**
- **ES – močni signali (cca +50dB)**
- **FAI (field aligned scatter) – znana refleksna področja (močnješi signali)**
- **PMSE (Polar Mesosphere Summer Echoes) – le na severu EU**

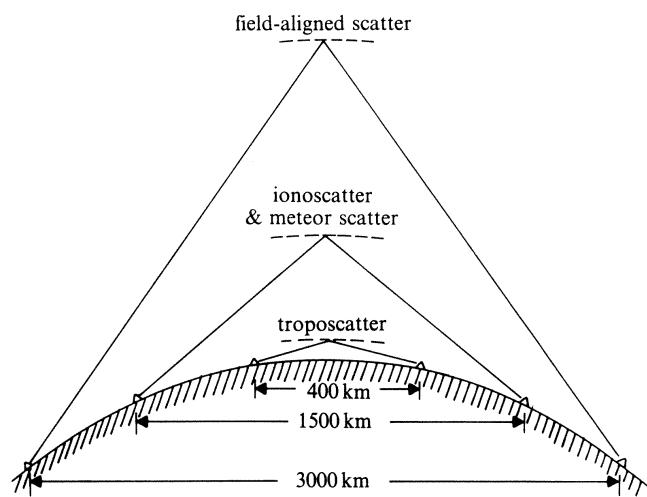
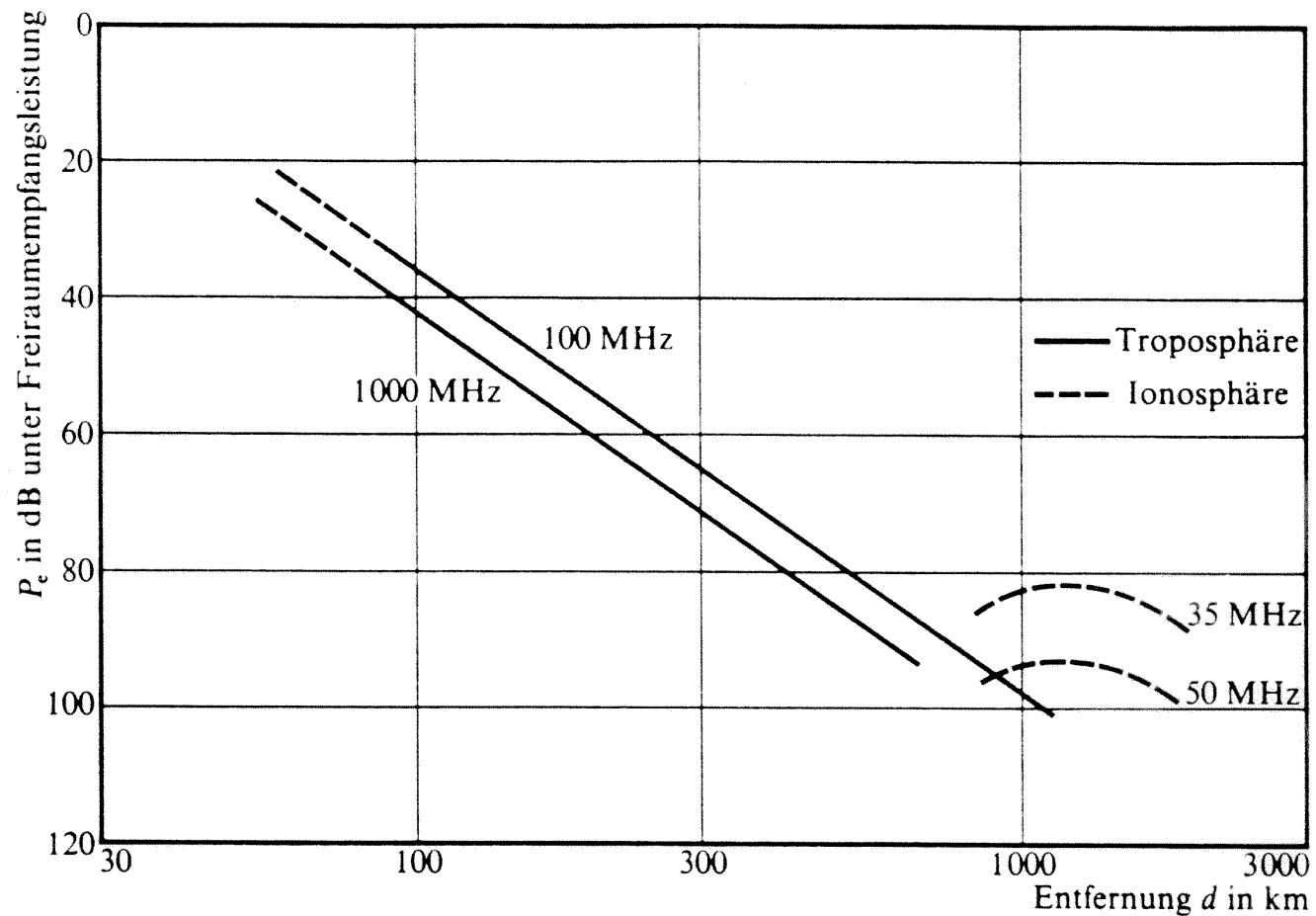


Fig. 7.9 Three of the several forms of radio communication systems which operate via a scattering mechanism.

## Razmerje med slabljenjem in oddaljenostjo postaj (tropo / iono)

Experimentelle Untersuchungen

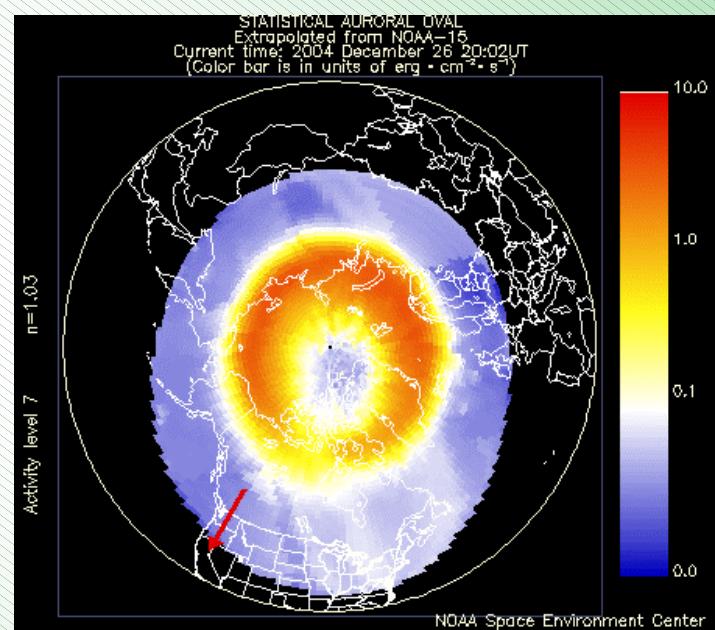
165



53 Streudämpfung in dB unter Freiraum als Funktion der Entfernung  
[46]

# AURORA

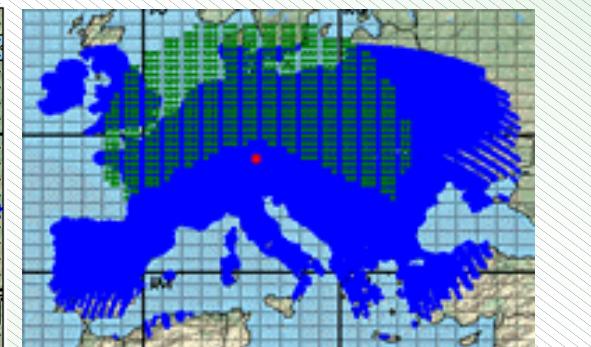
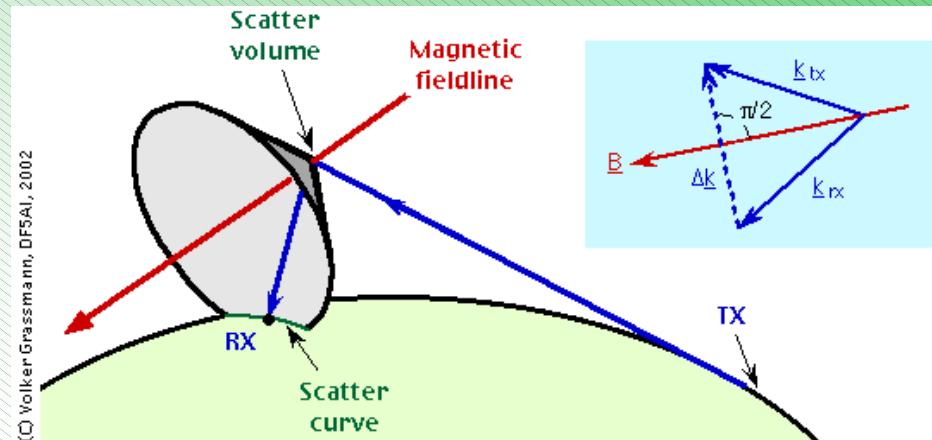
- AU povzroča plazma, ki se premika od Sonca proti Zemlji v povprečju s 400km/s .. elektroni izbijajo močno vezane elektrone iz atomov, pri ponovni vezavi teh atomov pa dobimo karakteristično svetlobo
- vizualna in radijska aurora nimata enakih zakonitosti (vizualna AU 300 – 700km lahko opazimo rdečo barvo, do 100km seva kisik zeleno, pod 100km dušik seva modro in rdečo svetlobo)
- E plast v ionosferi (**105-110 kilometers**)
- Aurora Borealis/aurora austalis





# AURORA

- Auroro lahko razumemo kot "back-scattering" varianto ES
- smer odboja je v korelaciji s smerjo zemeljskega magnetnega polja, ki prehaja skozi odbojno površino
- dx radius je odvisen od geografske pozicije postaje; maksimalna razdalja je v južni EU cca 2000km, na severu EU enaka nič
- signali so grobi, polni šuma
- izrazit Dopplerjev efekt
- AU ES
- izračun: DF5AI, DJ5HG

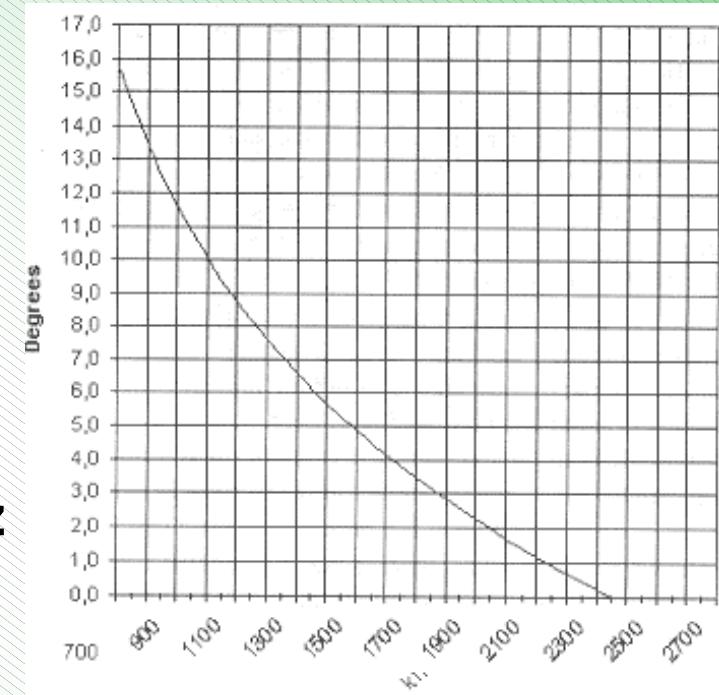


Slike so last df5ai

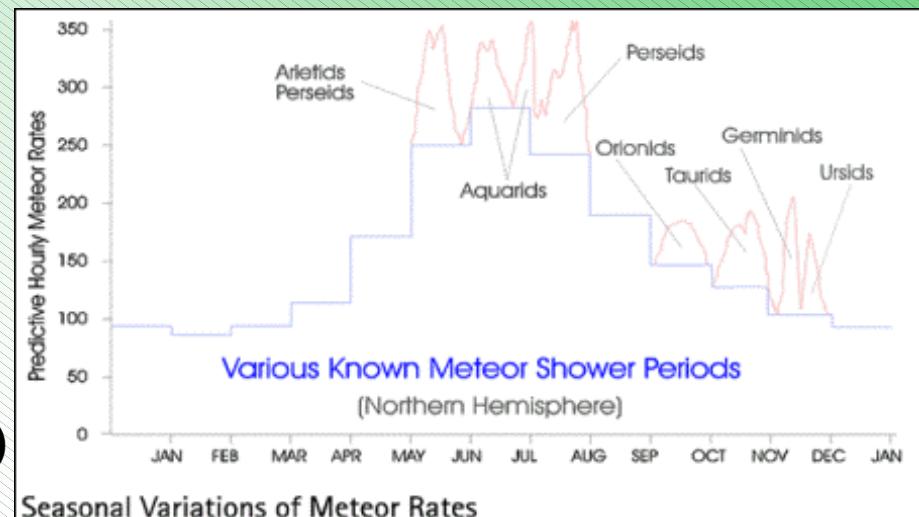
Modra barva predstavlja lokacije na zemlji, zelena pa potencialno odbojno površino

RIS 2005

- Meteoriti izgorevajo v zgornji atmosferi običajno na 105-110km in povzročajo ionizirano sled v E plasti
- Sled: 20-65km, 1m premer
- Maksimalni doseg cca 2300km, najboljši signali (podobno kot ES) med 1,100 in 1,600 km.
- Običajna ionizacija (neč tisoč  $\lambda$ ) pomeni možnost komunikacije na zemlji v področju ovalne oblike cca 100km široko in 100km dolgo
- Najboljši rezultati so med 35-60 MHz (komercialna uporaba)
- večje ojačanje pomeni daljše in močnejše refleksije
- potreben kot elevacije oz izmik antene iz smeri



- **več vrst meteoritev (po zgradbi):**
  - kamninske z gostoto  $3\text{g}/\text{cm}^3$
  - železne z gostoto  $8\text{g}/\text{cm}^3$
  - kometne z gostoto  $0.5\text{g}/\text{cm}^3$
- **dve vrsti glede pojavljanja:  
sporadični in roji (ostanki kometov)**
- **ionizacija  $\propto$  masi in  $v^2$**

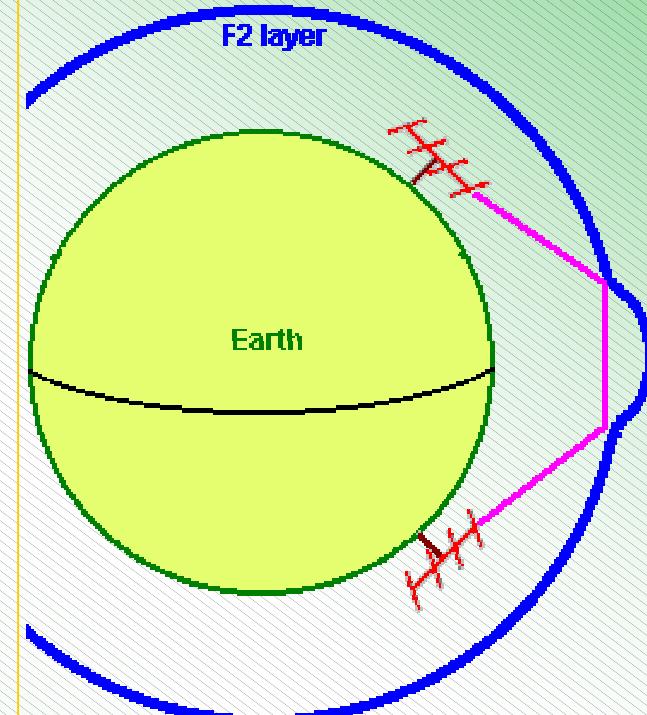


Roj	aktiven	maksimum	Radiant		hitrost	ZHR
			dan	$\alpha$	$\delta$	
Quadrantids (QUA)	Jan 01-Jan 05	Jan 03	230°	+49°	41	120
$\eta$ -Aquarids (ETA)	Apr 19-May 28	May 05	338°	-01°	66	60
$\delta$ -Aquarids (SDA)	Jul 12-Aug 19	Jul 28	339°	-30°	41	20
Perseids (PER)	Jul 17-Aug 24	Aug 12	46°	+58°	59	100
Orionids (ORI)	Oct 02-Nov 07	Oct 21	95°	+16°	66	23
Leonids (LEO)	Nov 14-Nov 21	Nov 17	153°	+22°	71	20+
Geminids (GEM)	Dec 07-Dec 17	Dec 14	112°	+33°	35	120
Ursids (URS)	Dec 17-Dec 26	Dec 22	217°	+76°	33	10

Zenitno urno število je število meteorjev na uro ob maksimumu, če je radiant v zenitu.

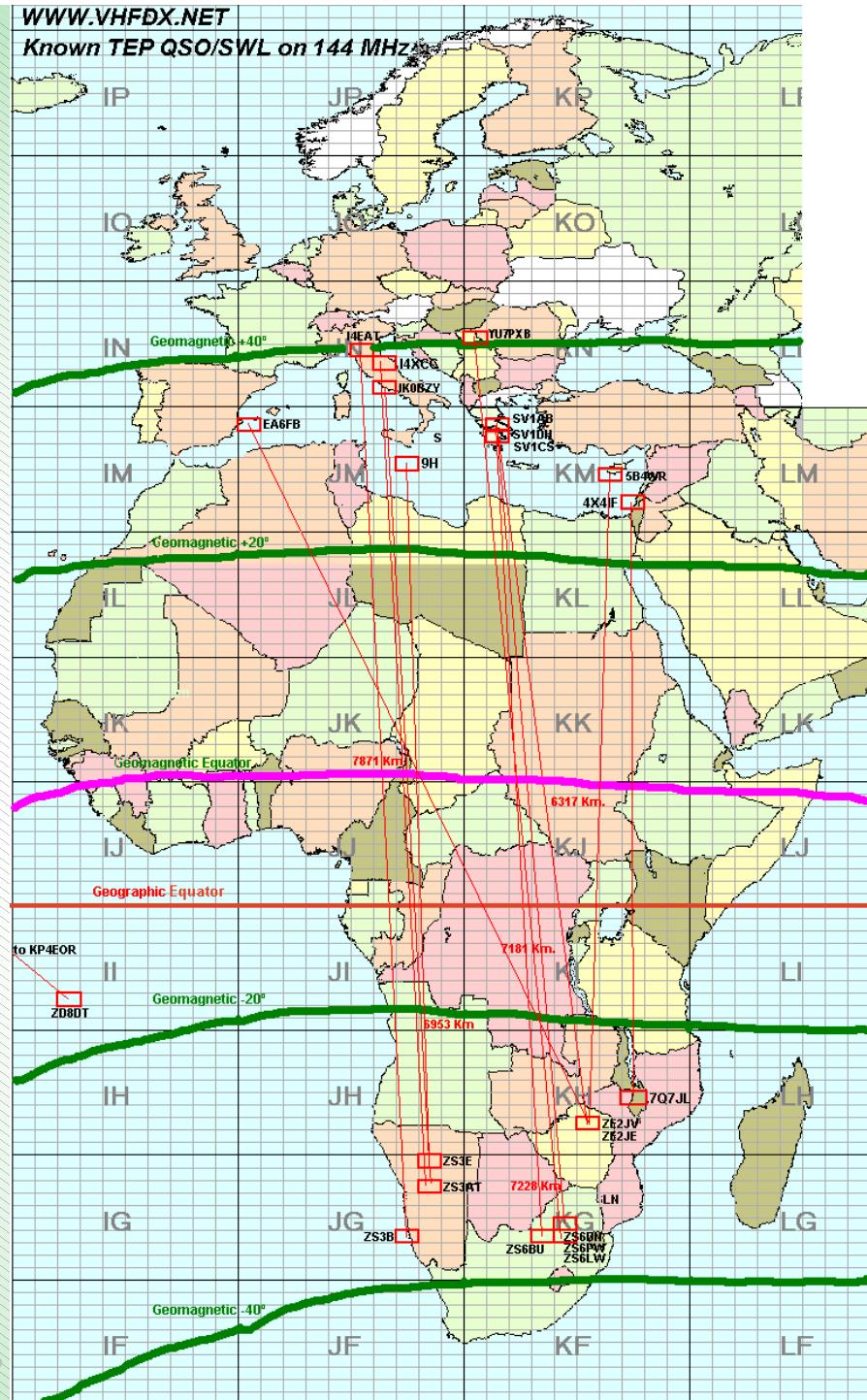
# TEP

- med  $20^{\circ}$  južno in  $20^{\circ}$  severno od geomagnetičnega ekvatorja se v ionosferi formira izbočina
- (1) F tip - pojav visoke stopnje ionizacije v F2 plasti dveh področji severno in južno od ekvatorja, ki ukrivljata radijski signal (do 100Mhz)
- (2) FAI tip - pojav turbulence elektronov ob sončnem zahodu, ki formirajo polje horizontalne oblike (tudi VHF in UHF)
- zveze so možne simetrično glede na magnetni ekvator in do 15 % izven smeri sever jug



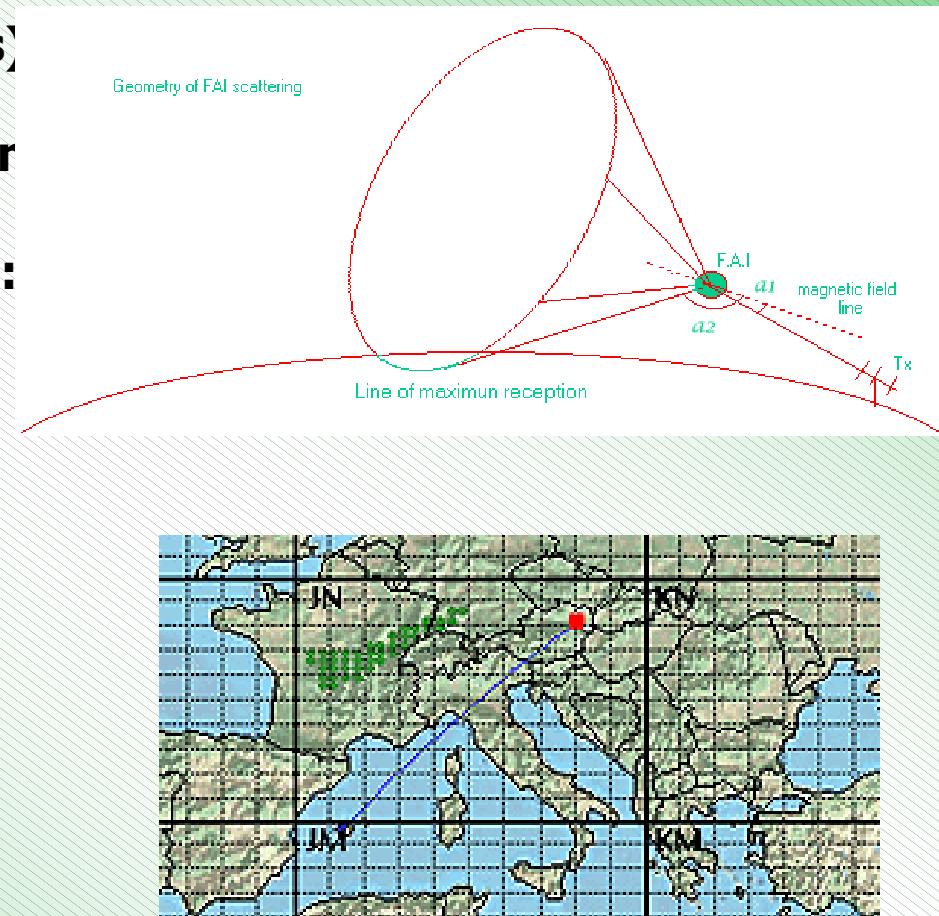
# TEP

- QSO tudi pri SFI manjšem kot 100
- zmerna geomagnetna aktivnost naj bi prispevala k odpiranjem, toda zveze so bile vzpostavljene tudi pri  $A>30$  (manjše nevihte)
- ni zahteve za EME sistem (1), da (2)
- signali močno nihajo, imajo popačenje in Dopplerjev efekt do 2kHz
- najbolj pogoste zveze spomladi in jeseni ob maks. sončni aktivnosti
- čas: po sončnem zahodu
- razdalja: 3000 – 8000km
- področja:
  - Karibi in J. Amerika,
  - JA in VK (pogosto),
  - EU in J. Afrika (redko)



# ***FAI (field aligned irregularities)***

- F.A.I. (Field Aligned Irregularities) je ionizacija v E plasti kot posledica neenakosti v zemeljsker magnetnem polju
- znane odbojne točke v obsegu S5:
  - Nemčija (JN39)
  - Budimpešta (JN97)
  - Genova (JN36)
  - Črna gora (JN92)
  - Korzika (JN41/42)
- običajno med majem in septembrom (16-22UTC)
- signal rahlo drhti



Slike so last df5ai

**RIS 2005**

# *Odboji od objektov*

- Odboj od lune ("earth moon earth" – EME)
- Odboji od letal
- Odboji od stacionarnih objektov

**1. Fresnelova cona:**

**200 + 300km, 10GHz > r=60m**

**300 + 300km, 1GHz > r=200m**

# *Odboj od letal*

Razdalja	Prim. s TR
300	- 15 dB
600	==
800	+ 15 dB
950	+ 20 dB

Vir, oz1rh, Boeing 747

- pogost pojav pri velikih letalih
- trajanje do nekaj minut



**Površina kril: 550m<sup>2</sup>**



# ZAKLJUČEK

- **veliko različnih vrst propagacij (za dobro opremljene postaje)**
  - **veliko možnosti spremeljanja dogajanja na frekvenci (Internet, DX Cluster, ..)**
  - **različni pripomočki za izračune ..**
- ...



**RADIJSKI VALOVI NAM NE POVEDO POT, PO KATERI POTUJEJO!**



- <http://www.vhfdx.de/>
- <http://www.df5ai.net/>
- <http://www.meteorscatter.net/traf.htm>
- <http://www.qsl.net/oz1rh/>
- <http://www.vhfdx.net/>
- The VHF/UHF Book, Dir Publishing, 1st edition, 1992, Buckingham
- The ARRL Handbook, ARRL, 72nd edition, 1994, Newington