

Analiza pewnych otwarć troposferycznych na 47 GHz i 24 GHz

Matthieu Cabellic, F4BUC, DUBUS 1/2007

tłumaczył Zdzisław Bieńkowski, SP6LB za zgodą wydawnictwa DUBUS

Otwarcia DX-owe są zawsze dobrą okazją dla badania zjawiska propagacji, w szczególności, gdy są one szczególne. W październiku 2006 w Europie pracowano na dużą skalę DX'owo w pasmach 47 GHz i 24 GHz. We Francji 11 listopada 2006 F6BVA i F6ETU przeprowadzili łączność w paśmie 47 GHz na odległość 300 km, zaś F6DWG miał QSO z HB9AMH w paśmie 24 GHz na odległość 450 km. Te dwa QSO są szczególnymi spośród wielu innych przeprowadzonych w tym czasie na tych pasmach. Będą one poniżej wykorzystane jako przykłady do analizy.

W niniejszym artykule będą analizowane masy powietrza dla wyjaśnienia warunków troposferycznych, które są odpowiedzialne za te intensywne otwarcia. Jeśli chcemy mieć możliwość dokładniejszego przewidywania tego rodzaju otwarć, to niezbędne są obserwacje i późniejsze analizy, lecz stanowi to ogromną ilość pracy i wymaga wysokiego stopnia znajomości, dla zrozumienia, jaki rodzaj warunków meteorologicznych może prowadzić do takich niezwykłych konfiguracji mas powietrza. Niniejszy artykuł składa się z generalnej dyskusji na temat propagacji troposferycznej, a następnie z szczegółowej analizy dwóch QSO w pasmach 24 GHz i 47 GHz.

Ogólna dyskusja na temat propagacji troposferycznej

Zjawisko refrakcyjności powietrza

Nienormalna zmiana indeksu refrakcji z wysokością prowadzi do nienormalnego ugięcia fal radiowych w kierunku do ziemi. Promień ugięcia R_u określony jest przez:

$$R_u^{-1} = dN/dh$$

gdzie:

R_u : promień ugięcia w metrach

N : indeks refrakcyjności powietrza

h : wysokość w metrach

Krzywa jest zawsze skierowana w kierunku rosnącej refrakcyjności, to znaczy w tym samym kierunku jak gradient N . Promień krzywizny Ziemi jest równy 6378 km. Dlatego, jeśli gradient refrakcyjności wynosi $1/6378 = 157 \times 10^{-6} \text{ km}^{-1}$, to fala radiowa będzie biegła według krzywizny ziemi. Jeśli jest on większy, fale radiowe są uginane w kierunku do ziemi i tam przechwytywane przy powierzchni ziemi i mogą rozchodzić się na bardzo dużą odległość.

Zgodnie z nauką o atmosferze, indeks refrakcji zależy głównie od ciśnienia atmosferycznego, temperatury i koncentracji pary wodnej w powietrzu.

Najbardziej znaczącym czynnikiem wpływu jest para wodna (wilgotność). Ciepłe suche powietrze nad zimniejszymi wilgotniejszymi masami powietrza jest najlepszą konfiguracją dla wytworzenia silnej inwersji.

W naszej analizie musimy obliczać refrakcyjność powietrza z danych sondażowych. Dla ułatwienia czytania wzorów zdefiniujemy "refrakcyjność" (współczynnik załamania) jako $N=(n-1) \cdot 10^6$, gdzie n jest indeksem refrakcyjnym. Wartość indeksu refrakcyjnego powietrza jest bardzo bliska jedności, typowo 1.0003.

Wzór stosowany dla obliczenia N jest:

$$N = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \cdot 10^5 \cdot \frac{e \cdot f}{T^2} = N_{\text{dry}} + N_{\text{wet}}$$

Gdzie:

T : Temperatura w Kelwinach

P : Ciśnienie w hPa

f : względna wilgotność między 0 i 1 (lub H/100)

e : ciśnienie nasyconej pary wodnej

e jest obliczane wzorem MAGNUS

$$e = 6.10 \cdot 10^{(7.448 \cdot t / (234.7 + t))}$$

gdzie t : temperatura powietrza w °C

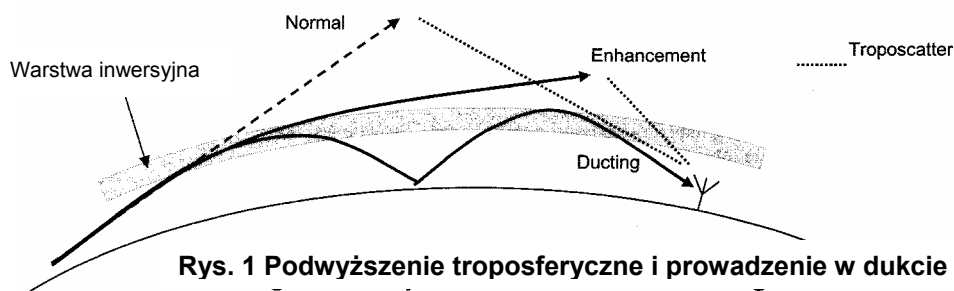
" $e \cdot f$ " jest cząstkowym ciśnieniem pary wodnej w powietrzu.

N jest sumą dwóch składników, "składnik suchy" N_{dry} , który obejmuje suche gazy, głównie azot i tlen i "składnik wilgotny" N_{wet} tworzony przez parę wodną.

W warunkach standardowych, N maleje o 40 jednostek na km w regionach umiarkowanych. Jeśli wielkość ta maleje ponad 157 jednostek na kilometr, to fale radiowe mogą być złapane między warstwą inwersyjną w troposferze i powierzchnią ziemi, lub między warstwami w troposferze w zależności od profilu refrakcyjności.

Jest to na ogół nazywane duktem i fala rozchodzi się w taki sposób jak w falowodzie. Propagacja nie polega tu już na rozproszeniu troposferycznym (troposkater) i odpowiadające temu straty trasy rosną proporcjonalnie do odległości (zasięgu) a nie z kwadratem odległości, dając w wyniku znacznie mniejsze straty trasy i bardzo wysoki poziom sygnałów na dużych odległościach (>800 km). Obserwowano, że podczas występowania dukatów, warstwa inwersyjna może być szczególnie ostra i dobrze rozmieszczona wzdłuż profilu refrakcyjności.

Bardzo często gradient refrakcyjności jest większy niż "standardowy" gradient lecz nie przekracza 157 jednostek/km. Jest to nazywane podwyższeniem troposferycznym nie tworzącym duktu. Troposferyczne podwyższenie jest spowodowane lekką i rozproszoną inwersją powodowaną przez grunt, który promieniuje ciepło i utrzymuje górne warstwy powietrza cieplejsze podczas gdy blisko ziemi jest chłodniej. Występuje to zazwyczaj w czasie nocy i wczesnym rankiem, powodując podniesienie siły sygnałów lecz nie dalekie DX'y (to znaczy, że horyzont radiowy oddala się i wtedy wzrasta się rozproszenie troposferyczne (troposkater).



Rys. 1 Podwyższenie troposferyczne i prowadzenie w dukcie

W przeciwieństwie do temperatury i ciśnienia, wilgotność jest bardzo uzależniona od warunków meteorologicznych. To jest powodem tego, że N_{wet} jest najbardziej zmiennym składnikiem N.

Zjawisko absorpcji powietrznej

Ponad 10 GHz absorpcja powietrzna staje się bardziej znacząca, w szczególności, gdy trasa jest dłuższa (> 200 km).

Rozpatrzmy standardowe wilgotne powietrze na poziomie gruntu: 15°C, 1013 hPa i 60% wilgotności i suche powietrze z 15°C i 1013 hPa i otrzymamy wartości absorpcji jak w tabeli 1.

Częstotliwość	Absorpcja kontinuum tlenu + suche powietrze (dB/km)	Absorpcja pary wodnej (dB/km)	Całkowita absorpcja powietrza (dB/km)	Absorpcja na trasie 100 km (dB)
Powietrze mokre (15°C, 1013 hPa, 60% wilgotności)				
10 GHz	0.008	0.007	0.015	1.5
24 GHz	0.014	0.171	0.186	18.6
47 GHz	0.135	0.118	0.253	25.3
Powietrze suche (15°C, 1013 hPa, 0% wilgotności)				
10 GHz	0.008	0	0.008	0.8
24 GHz	0.014	0	0.014	1.4
47 GHz	0.135	0	0.135	13.5

Tabela 1: Wartości absorpcji powietrza wilgotnego i suchego

Absorpcja, w tym artykule, jest obliczana w oparciu o wzory zalecenia ITU-R P.676-6 "Tłumienie przez gazy atmosferyczne" Wzory te są zbyt długie (i nudne) aby je tu przytaczać. Poniżej 54 GHz dokładność jest około 10%.

Dla trasy 100 km spostrzegamy różnicę między powietrzem wilgotnym i suchym 0.7 dB na 10 GHz, 17 dB na 24 GHz i 12 dB na 47 GHz. Oczywiście jest że na długich trasach absorpcja powietrzna gra znaczącą rolę. Nawet uznając że absorpcja maleje z wysokością (ponieważ ciśnienie jest mniejsze), to jednak wydaje się, że suche powietrze jest potrzebne jeśli ma nastąpić pomyślne otwarcie powyżej 10 GHz.

Pobieranie danych troposferycznych

Na całym świecie, a więc i w Europie, szereg stacji przeprowadza dwa razy dziennie sondowanie. Stosowane są balony i podczas ich wznoszenia przez atmosferę, wysyłają one do stacji wartościowe dane. Sondowanie jest przeprowadzane dwa razy dziennie o 00H00 TU i 12H00 TU.

Dane archiwalne są dostępne w domenie publicznej i mogą być z łatwością pobrane w Internecie. Dobrym miejscem dla pozyskania danych sondażowych jest miejsce Uniwersytetu of Wyoming:

<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

We Francji mamy 6 stacji tworzących sześciokąt (F) i dalsze stacje położone na Korsyce (TK). Dla dobrego rozpoznania stacji sondujących profile, pokazanych na mapce przejdź do : <http://www.infoclimat.fr/radiosondages/>

(W Polsce sondy są wypuszczane na północ od Wrocławia i Warszawy.).

300km+ QSO na 47 GHz

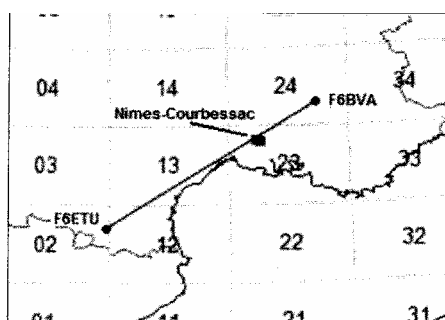
QSO miało miejsce między F6BVA/p i F6ETU/p 11 listopada (2006) ranem. Sygnały huczały na obu stronach. F6BVA znajdował się na szczycie Mont Ventoux JN24PE na wysokości 1890 ASL.

F6ETU znajdował się w Col de Paillere JN02XR na 2300 ASL. Obaj mieli stacje klasy mikrowatowej (100μW) z talerzami 50 dBi i czułością około -124 dBm.

Obie stacje były zawsze w linii widzenia z trasy radiowej (nie optycznej) i elipsoida Fresnela nie jest zakłócona przeszkodami. Margines łącza może być obliczony przy zastosowaniu wzoru dla wolnej przestrzeni. W tym przypadku dało to 175 dB na tłumienie przestrzeni i zapas łącza 39 dB bez strat powietrza.

Szczęśliwie, stacja sondująca znajduje się wewnątrz trasy QSO. Stacja Nimes-Courbessac dała więc bardzo cenne dane dla analizy.

Mapka na rys. 2 pokazuje względne położenia operatorów i stacji sondującej.



Rys. 2 Trasa QSO 47 GHz

Tablica 2 jest przykładem pobieranych danych tekstowych.

Każdy wiersz odpowiada innej wysokości sondy. Z każdej kolumny możemy odczytać wartości dla: ciśnienie (PRES), temperatury (TEMP), temperatura punktu rosy (DWPT), względna wilgotność (RELH), stosunek mieszanki pary wodnej (g H₂O/kg suchego powietrza (MIXR), kierunek wiatru (od DRCT do THTV). Wysokość (HIGH) jest odpowiednią wysokością nad poziom morza (ASL).

07645 LFME Nimes-Courbessac Observations at 12Z 11 Nov 2006										
PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1021.0	62	16.2	10.2	68	7.70	110	2	287.6	309.5	289.0
1000.0	238	13.4	8.9	74	7.20	140	4	286.6	306.9	287.8
996.0	272	13.0	8.7	75	7.13	146	4	286.5	306.6	287.7
981.0	399	12.4	8.7	78	7.24	168	6	287.1	307.6	288.4
952.0	650	11.0	2.0	54	4.67	213	8	288.2	301.7	289.0
925.0	890	9.8	2.8	62	5.09	255	11	289.3	304.1	290.2
914.0	989	9.3	2.9	64	5.20	270	12	289.8	304.9	290.7
885.0	1256	8.0	3.3	72	5.51	279	15	291.1	307.2	292.1
872.0	1378	8.0	-14.0	19	1.49	283	16	292.4	297.1	292.6
850.0	1589	8.0	-24.0	8	0.65	290	18	294.5	296.7	294.6
846.0	1628	8.0	-27.0	6	0.50	291	18	294.9	296.6	295.0
...										

Tablica 2: Typowe dane sondażowe

Analiza sondażu o 00H00 TU

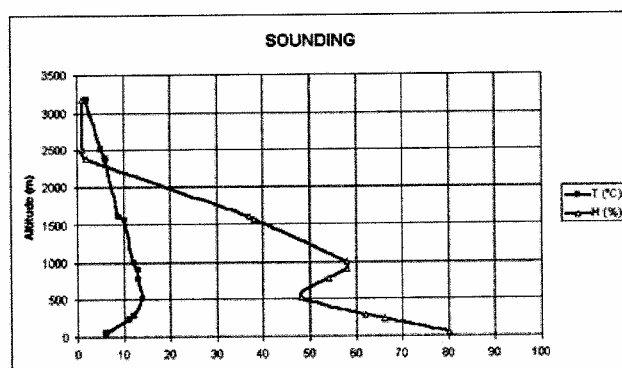
Tablica 3 pokazuje dane sondażowe i obliczone wszystkie interesujące dane: refrakcyjność N ze składnikami N_{dry} i N_{wet} , gradient refrakcyjności i absorpcja powietrza na 47 GHz. Absorpcja trasy jest obliczona dla stałej wysokości (altitudy). Rysunek 3 jest profilem sondażowym z względną wilgotnością i temperaturą, bardzo powszechny przypadek.

Rysunek 4 pokazuje profil refrakcji powietrza. Gradient i profil odpowiadają standardowej zmianie -40 jednostek/km. Rysunek 5 pokazuje profil gradientu refrakcyjności powietrza. Wartości znajdują się około -40 jednostek/km (cienka pionowa linia). Linia przerywana przedstawia granicę -157 jednostek/km, potrzebną dla zagięcia fal radiowych w kierunku do ziemi. Jest oczywiste, że o godzinie 00H00 TU nie stwierdzono żadnych warunków propagacji troposferycznej. Ponieważ obie stacje znajdowały się na linii widzenia z powodu ich wysokości, fale radiowe rozchodziły się po linii prostej (z korektą 4/3 promienia ziemskiego)

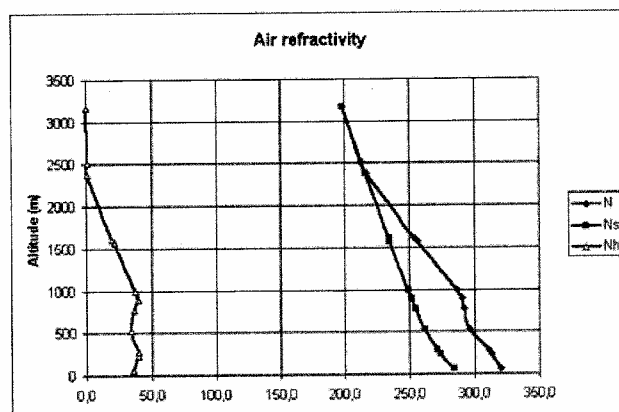
Na rysunku 6 pokazano profil absorpcji na 47 GHz. Spostrzegamy malejącą wartość około -30dB/km powyżej 1000m. Absorpcja powietrza na 1500m jest 50 dB, zaś na 250m jest 70 dB. To prowadzi z grubsza do strat powietrza do 60 dB. Całkowity margines łącza jest $39 - 60 = -21$. Nie odbierasz!

Alt (m)	H (%)	T (°C)	P (hPa)	Water vapour (g/m ³)	N	Ns	Nh	Gradient (1/km)	Absorption water vapour (dB/km)	Absorption dry air (dB/km)	Total absorption (dB/km)	Absorption of path (dB)
62	80	6	1023	5.9	320.4	284.5	35.9	-	0.090	0.153	0.242	75
244	66	11	1000	6.7	313.4	273.2	40.1	-3.9E+01	0.105	0.140	0.245	76
286	62	12	995	6.7	310.9	270.9	40.0	-5.8E+01	0.105	0.138	0.242	75
526	48	14	967	5.9	296.3	261.5	34.8	-6.1E+01	0.090	0.128	0.218	67
774	54	13	939	6.2	291.7	254.8	36.9	-1.8E+01	0.096	0.122	0.217	67
900	58	13	925	6.7	290.7	251.0	39.7	-8.4E+00	0.104	0.118	0.222	69
1000	58	12	914	6.3	286.3	248.9	37.4	-4.4E+01	0.097	0.116	0.213	66
1576	38	10	854	3.6	255.9	234.2	21.8	-5.3E+01	0.051	0.103	0.155	48
1606	37	9	850	3.3	253.8	233.9	19.9	-6.9E+01	0.046	0.103	0.150	46
2386	2	6	776	0.1	216.7	215.8	0.9	-4.8E+01	0.002	0.088	0.090	28
2514	1	5	761	0.1	212.8	212.4	0.4	-3.0E+01	0.001	0.086	0.087	27
3179	1	2	701	0.1	198.2	197.8	0.3	-2.2E+01	0.001	0.075	0.075	23

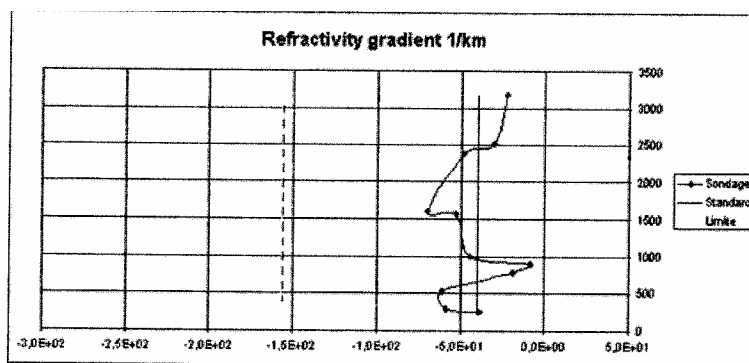
Tablica 3: Dane sondażowe (00H00 TU)



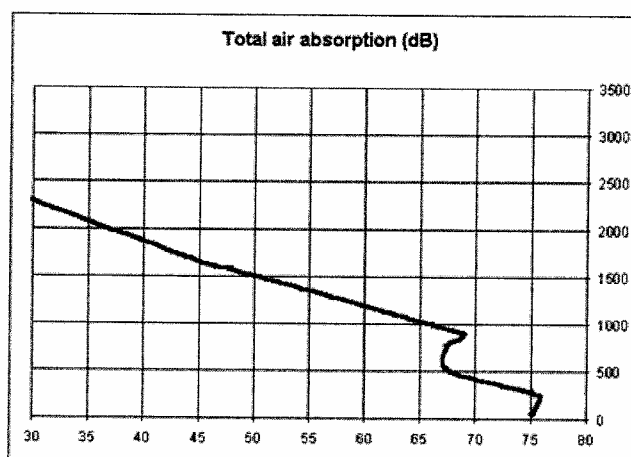
Rysunek 3: Profil sondażowy (00H00 TU)



Rysunek 4: Profil refrakcyjności powietrza ($N_s = N_{dry}$, $N_h = N_{wet}$) (00H00 TU)



Rysunek 5: Profil gradientu refrakcyjności powietrza (00H00 TU)



Rysunek 6: Profil absorpcyjności powietrza na 47 GHz (00H00 TU)

Analiza sondażu o 12H00 TU

Dane są zebrane i analizowane dokładnie w taki sam sposób. Teraz staje się jasnym, że o 12H00TU wystąpiły szczególne warunki.

Profil sondażowy na rysunku 7 pokazuje znaczący spadek 70% w wilgotności względnej na 1500 m. Zauważ, że profil temperatury jest całkowicie nie zakłócony (brak inwersji temperaturowej).

Profil refrakcyjności (rysunek 8) jest zakłócony składnikiem N_{wet} . N_{dry} jest zupełnie nie zakłócony.

Znany wielki wpływ zmienności N_{wet} na zmienność N , nawet gdy N_{wet} stanowi tylko 15% całej wartości N .

Gradient refrakcyjności (rys. 9) pokazuje ostry wzrost na 1300 m, uzyskując w szczycie -250 jednostek/km, znacznie przekraczając granicę -175 jedn./km. Staje się oczywistym, że o 12H00 TU wystąpiły warunki duktowe z silną inwersją na 1300 m asl.

Trudno jest dokładnie określić trasę fal radiowych związaną z tą inwersją. Nie mamy innych danych sondażowych w innych miejscach, tak więc nie jest możliwe wyciągnięcie dokładnych wniosków na temat trasy. Musieliśmy mieć ugięcie wzdłuż całej tej warstwy inwersji bez przekraczania dolnej atmosfery, w przeciwnym przypadku absorpcja stałaby się ważną. Pamiętaj, że obie stacje były na linii widzenia, tak więc tylko znaczny spadek w stratach w powietrzu może być odpowiedzialny za pomyślny QSO na 47 GHz.

Przyjmijmy założenie że fale radiowe biegły na tej samej wysokości wzdłuż trasy.

Na rysunku 10 profil absorpcji wykazuje znaczny spadek strat w powietrzu około 1500 m. To mogło prowadzić do całkowitej absorpcji 35 dB. W porównaniu do 00H00 TU jest to poprawienie o 25 dB. Całkowity margines łączy wynosi $39 - 35 = +4$ dB. QSO jest możliwe!

Możemy ekstrapolować między 00H00TU i 12H00TU i wnioskować, że inwersja powstała rano na wysokości około 1500m asl.. Inwersja ta jest następstwem warstwy suchego powietrza nad wilgotnymi masami powietrza. Taka konfiguracja prowadzi do:

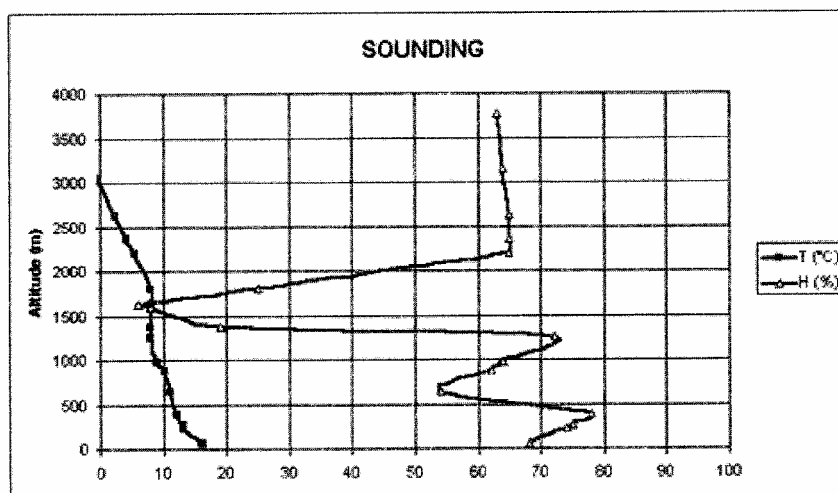
- ugięcia fal radiowych wzdłuż trasy,
- wyraźnego zmniejszenia strat trasy z powodu mniejszej absorpcji na 47 GHz w suchym powietrzu.

Nie ma możliwości stwierdzenia, że taka konfiguracja była taka sama wzdłuż trasy, lecz bardzo dobrą interpretacją jest, że ta inwersja pomogła przebiegowi fal radiowych w suchej, mało stratnej warstwie. Skutkiem tego doświadczone znaczne podniesienie poziomu sygnału.

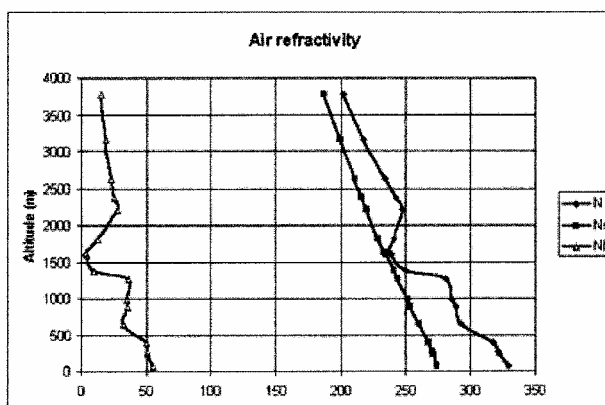
Zauważ, że w wyniku dużej wysokości (alitudy), warstwa inwersyjna stała "poniżej" dwóch stacji, a więc fale radiowe nie przekraczały warstwy, lecz znajdowały się wyłącznie w suchym mało stratnym powietrzu.

Alt (m)	H (%)	T (°C)	P (hPa)	Water vapour (g/m ³)	N	Ns	Nh	Gradient (1/km)	Absorption water vapour (dB/km)	Absorption dry air (dB/km)	Total absorption (dB/km)	Absorption of path (dB)
62	68	16	1021	9.4	329.5	274.2	55.3	-				
238	74	13	1000	8.5	322.0	271.3	50.6	-4.3E+01	0.140	0.138	0.278	86
272	75	13	996	8.7	321.6	270.2	51.3	-1.2E+01	0.143	0.137	0.279	87
399	78	12	981	8.5	317.4	267.1	50.3	-3.3E+01	0.139	0.134	0.272	84
650	54	11	952	5.5	293.0	260.1	32.8	-9.8E+01	0.083	0.127	0.210	65
890	62	10	925	5.9	289.1	253.6	35.5	-1.6E+01	0.090	0.121	0.211	66
989	64	9	914	5.7	286.0	251.5	34.5	-3.2E+01	0.087	0.119	0.206	64
1256	72	8	885	6.1	280.9	244.4	36.5	-1.9E+01	0.092	0.113	0.205	64
1378	19	8	872	1.6	250.4	240.8	9.6	-2.5E+02	0.021	0.110	0.131	41
1598	8	8	850	0.7	238.8	234.7	4.1	-5.3E+01	0.009	0.104	0.113	35
1628	6	8	846	0.5	236.7	233.6	3.0	-7.1E+01	0.006	0.103	0.110	34
1815	25	8	827	2.1	241.1	228.4	12.7	2.3E+01	0.028	0.099	0.127	39
2201	65	5.4	789	4.6	248.0	219.9	28.1	1.8E+01	0.067	0.092	0.159	49
2368	65	4	773	4.2	242.2	216.6	25.7	-3.4E+01	0.061	0.089	0.150	46
2635	65	2.4	748	3.8	234.0	210.8	23.2	-3.1E+01	0.054	0.085	0.138	43
3169	64	-1	700	2.9	218.0	199.7	18.3	-3.0E+01	0.041	0.076	0.117	36
3781	63	-4	648	2.3	201.6	186.9	14.7	-2.7E+01	0.032	0.067	0.099	31

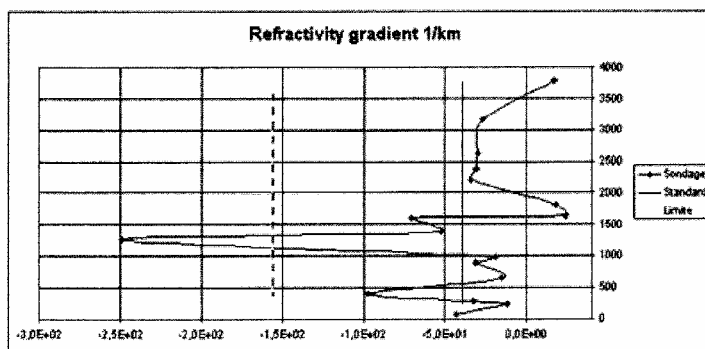
Tabela 4: Dane sondażowe (12H00 TU)



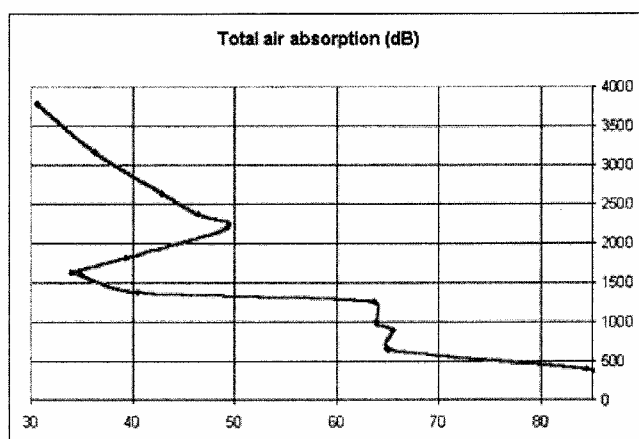
Rysunek 7 : Profil sondażowy (12H00 TU)



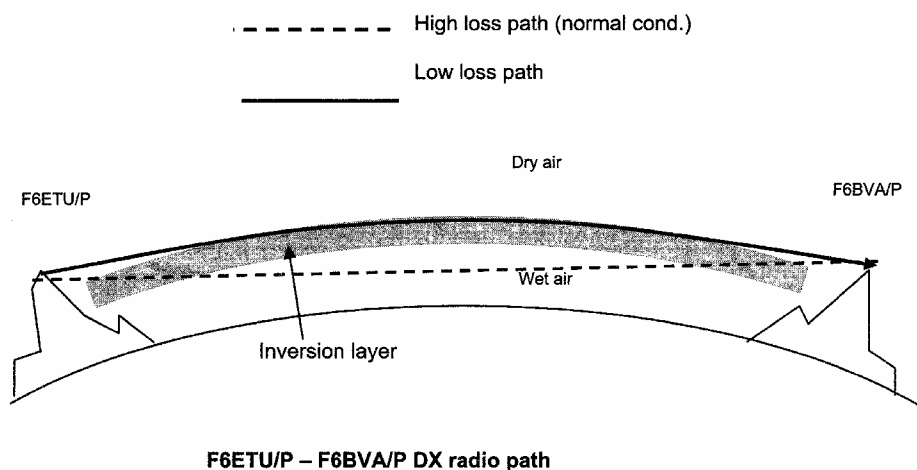
Rysunek 8 : Profil refrakcyjności powietrza (Ns= N_{drv} Nh=N_{wet}) (00H00 TU)



Rysunek 9: Profil gradientu refrakcyjności powietrza (12H00 TU)



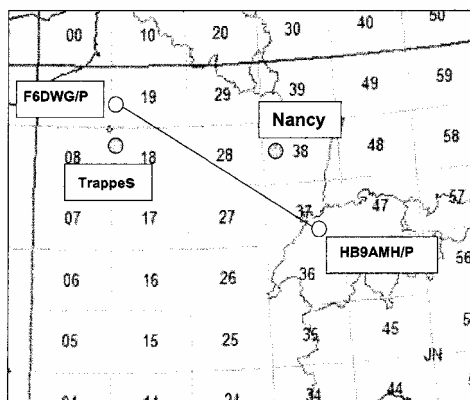
Rysunek 10: Profil absorpcyjności powietrza na 47 GHz (12H00 TU)



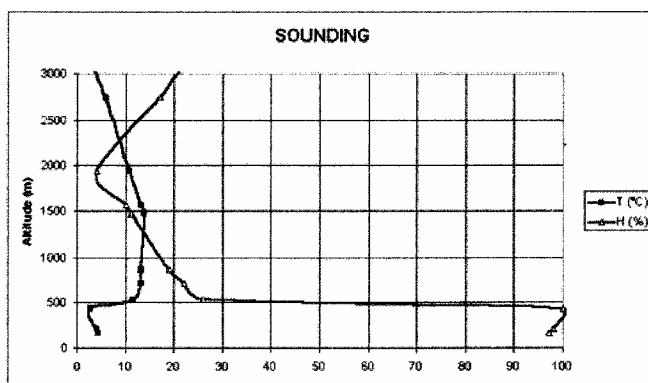
450km+ QSO na 24 GHz

Inny wielki DX został ustanowiony 6 i 7 listopada (2006) na 10. 24 i 47 GHz. Spójrzmy na DX QSO między F6DWG/p (JN19AJ) i HB9AMH/p (JN37OE): nieco ponad 450 km uzyskano na 24 GHz. Patrz mapka na rys. 11. Ta sama analiza została wykonana jak poprzednio, z tą różnicą, że dotyczyła 24 GHz. Kryteria gradientu refrakcyjności są takie same, lecz straty są teraz rozpatrywane przy 24 GHz. Na temat różnic w porównaniu z 47 GHz spójrz do tablicy 1.

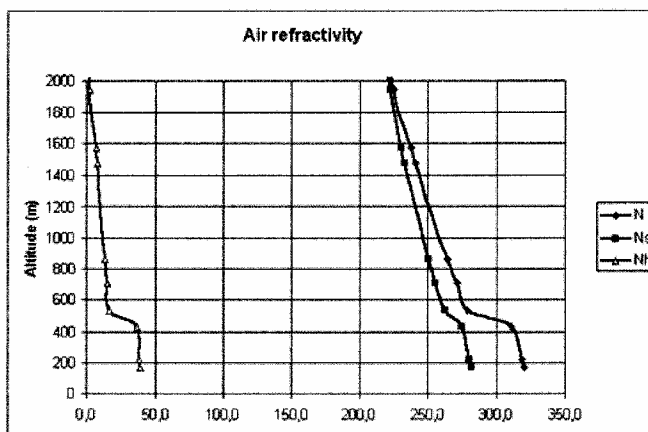
Tłumienie atmosferyczne, refrakcyjność i łączne tłumienie (dla trasy długości 450 km), profile w miejscu Trappes (JN18AS), blisko QTH F6DWG/p są pokazane na rysunkach 12, 13, 14 i 15. Rozpatrujemy dane sondażowe 00H00TU 7-go listopada (blisko czasu DX QSO).



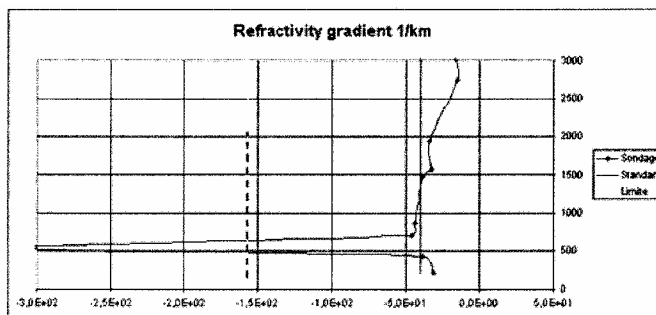
Rysunek 11: Położenie stacji DX i stacji sondażu atmosfery



Rys. 12: Profil sondażowy, TrappeS (00H00 TU)



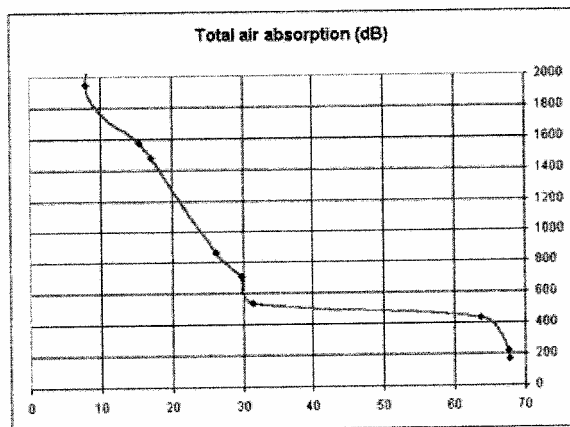
Rys. 13: Profil refrakcyjności powietrza ($N_s=N_{dry}$ $N_h=N_{wet}$) TrappeS (00H00 TU)



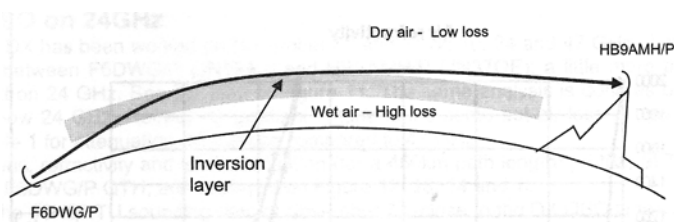
Rys. 14: Profil gradientu refrakcyjności powietrza, TrappeS (00H00 TU)

Profile sondowania i gradientu refrakcyjności są imponujące. Inwersja jest bardzo silna i ostro zarysowana na 500 m asl, znacznie niżej niż w poprzedniej analizie (1300 m). Zauważ, że inwersja temperatury jest obecna na tej wysokości. Łączne straty w powietrzu gwałtownie maleją na 500 m od 65 dB do 30 dB. Jest to bardzo znaczące poprawienie o 35 dB łącznych strat na trasie. Ponownie możemy wyraźnie założyć, że fale radiowe były prowadzone wzdłuż granicy inwersji w rodzaju mało stratnej przewodności.

Dane sondażowe z położenia Nancy (JN38CQ) pokazują te same profile z inwersją nieco wyższą, przy 600 m asl. Oczywiście warunki były bardzo dobre w kierunku wschodnim z Trappes. Wyjaśnia to następane DX QSO w czasie tej samej nocy na 10 GHz między stacjami F i OK.



Rys. 15: Profil absorpcji przy 24 GHz, Trappes (00H00 TU)

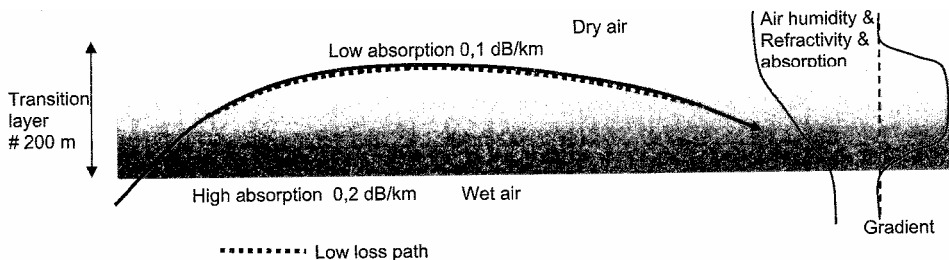


Rys. 16: Proponowana trasa radiowa dla DX QSO F6DWG/p – HB9AMH/p

Propagacja w warstwie "inwersyjnej"

W rzeczywistości, warstwa inwersyjna nie jest "binarna", nawet jeśli jest ona bardzo ostra, jak to pokazały profile sondażowe. Taka inwersja jest tranzytem (przejściem) między dwoma bardzo różnymi masami powietrza, w naszym przypadku jedna bardzo wilgotna i druga bardzo sucha. Profil temperaturowy przez przejście może być nienormalny (patrz rys. 12), co jest często nazywane "inwersją temperatury".

W rzeczywistości, w poprzek warstwy przejściowej, gradient refrakcyjności i tłumienie powietrza jest łagodniejsze niż wyniki naszych obliczeń (tablica 1, rysunek 9). Jest to wynikiem braku pośrednich wyników danych sondażowych. Wzdłuż trasy radiowej, fale radiowe są stopniowo uginane i w następstwie absorpcja powietrzna maleje stopniowo w miarę tego jak fala osiąga górną część warstwy przejściowej. Dlatego im dłuższa jest trasa QSO, tym dłużej fale radiowe znajdują się w warstwie tranzytowej i dłuższą jest trasa z małymi stratami i dlatego większe jest wzmocnienie sygnału.



Rys. 17: Propagacja przez warstwę tranzytową (przejściową)

Niektóre stacje sondażowe dają bardzo dokładne dane sondażowe i możemy obserwować w tych profilach, że warstwa tranzytowa może nie być całkowicie wyrównana i że występuje wiele cienkich sub warstw.

Jest to inny temat do studiowania, szczególnie istotny dla mikrofal, ponieważ takie subwarstwy mogą prowadzić do subduktów na mikrofalowych długościach fal. Wyjaśnienie procesu prowadzącego do takiego cienkiego uwarstwienia jest bardzo interesujące, lecz nie jest przedmiotem tego artykułu.

W naszych obliczeniach całkowitej absorpcji (rys. 10) zrobiliśmy założenie, że fale radiowe przekroczyły warstwę tranzytową na stałej wysokości i że wysokość tranzytu była stała. Takie uproszczenie jest stosowne dla QSO na średnią odległość, powiedzmy 300/400 km. Dla bardzo dużych odległości QSO może tak nie być (przy możliwym odbiciu od ziemi w pewnych przypadkach).

Konkluzja

W porównaniu z "klasyczną" analizą na 144 MHz lub 432 MHz, widzimy, że straty w powietrzu są podstawowym parametrem w mikrofalach powyżej 10 GHz. W wielu przypadkach, dobrze znana "inwersja temperatury" nie jest krytycznym parametrem i inwersja jest faktycznie następstwem "inwersji wilgotności". W połączeniu z inwersją temperatury prowadzi ona do najlepszych warunków.

Zadaniem tego artykułu było wyróżnienie roli absorpcji nawet gdy dokładne obliczenie całkowitej straty w powietrzu na trasie radiowej byłoby wymagało znajomości dokładnej trasy fal radiowych a więc i dokładnej straty absorpcyjnej powietrza na trasie radiowej. Wydaje się to prawie niemożliwe, gdyż dane atmosferyczne są zbierane przez niewielką liczbę stacji sondujących. Z drugiej strony, te dwie analizy DX tropo potwierdzają wielką zmienność całkowitych strat w powietrzu wzdłuż trasy, co może prowadzić do znacznego wzmocnienia sygnału o dziesiątki dB.

Wiele DX'ów mikrofalowych byłoby niemożliwe bez takiego poprawienia strat w powietrzu.

Artykuł ten spekuluje także na temat drogi jaką przebiegają fale radiowe w górnej atmosferze i pierwszy przypadek badania wskazuje na to, że fale radiowe muszą być prowadzone w mało stratnych masach powietrza, w przeciwnym przypadku, nawet przy prowadzeniu (w dukcie), QSO nie byłoby możliwe. W drugim przypadku nie jest jasne czy tylko prowadzenie jest wystarczające aby QSO było możliwe. Jakkolwiek spotkano się z tym samym profilem absorpcji.

Dla dalszych badań, a w szczególności, jeśli chcemy przewidywać takie otwarcia mikrofalowe, to musimy zdefiniować model mechanizmu propagacji. Zadanie to wymaga:

- więcej wartości pośrednich w danych sondażowych dla uzyskania bardziej dokładnego profilu refrakcyjności i dla wyciągnięcia wniosków na temat dokładnej trasy fal radiowych w warstwie tranzytowej.
- przestudiowanie większej liczby przypadków DX dla uzyskania współzależności profilu strat w powietrzu i DX.
- z powodu czasami małej wysokości warstwy tranzytowej, przeprowadzanie innych analiz DX QSO ze stacjami położonymi na różnych wysokościach.

Dobrych DX! Matthieu F4BUC – f4buc@alisedsl.fr

Referencje dla dalszego czytania

- [1] Bardzo interesujące artykuły można znaleźć w DF5AI web site <http://df5ai.net>
- [2] Dane sondażowe z Uniwersytetu of Wyoming: <http://weather.uwyo.edu/uppeair/sounding.html>
- [3] Mapa sondażowa Francji: <http://www.infoclimat.fr/radiosondages/>
- [4] <http://www.mike-willis.com/Tutorial/refraction.htm>. Możesz pobrać tu kalkulator strat w powietrzu: "GasLoss.exe"
- [5] Baza danych QSO: EA6VQ <http://www.vhfdx.net/>
- [6] F4BUC web site (po francusku): <http://f4buc.chez-alice.fr>
- [7] ITU-R recommendation P.676 "Attenuation by Atmospheric Gases"

Tłumaczył:

Zdzisław, SP6LB 10.5.2007 (18.495).