



Jonosferyczny rezonans Alfvéna nad Hylatym – symulacje i obserwacje

XIII Spotkania Bieszczadzkie

“Pola ULF/ELF na Ziemi i w przestrzeni kosmicznej”

Dwerniczek, 17–20 czerwca 2008

Ta praca jest sponsorowana przez grant MNiSW Nr N307 050 32/2568



Cześć I

Symulacje

XIII Spotkania Bieszczadzkie
“Pola ULF/ELF na Ziemi i w przestrzeni kosmicznej”
Dworniczek, 17–20 czerwca 2008

PSpice – rozwiązuje wiele problemów geofizycznych

PSpice – program komputerowy do symulacji układów elektrycznych i elektronicznych. Ma wbudowane modele różnych układów elektrycznych, potrafi rozwiązywać równania różniczkowe.

W zastosowaniach geofizycznych PSpice był już używany np. do modelowania:

- **Rezonansów Schumanna**
- **Globalnego układu elektrycznego**
- **Pól i prądów elektrycznych generowanych przez zjawiska burzowe**

Czy PSpice nadaje się również do modelowania jonosferycznego rezonansu Alvéna?

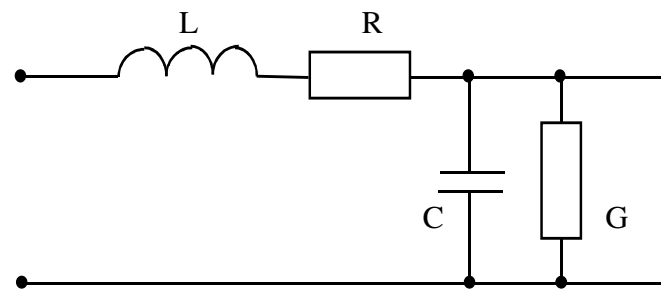
Wygląda na to, że TAK! Za pomocą linii transmisyjnych.

Linia transmisyjna i jej elektryczna reprezentacja

Linia transmisyjna – struktura, która tworzy całość lub część drogi z jednego punktu do drugiego, którą transportowana jest energia, przeważnie energia fal elektromagnetycznych. Przykład: kabel antenowy TV.

Teoria linii transmisyjnych zwana modelem transmisyjnym wyprowadzona jest z równań Maxwella i prowadzi do równań zwanych **równaniami telegrafistów**. W tej teorii linia transmisyjna jest reprezentowana przez szereg elementów, każdy reprezentujący nieskończenie jej mały odcinek i o następujących parametrach na jednostkę długości:

- Pojemność **C** (F/m)
- Indukcyjność **L** (H/m)
- Rezystancja **R** (Ω /m)
- Konduktancja **G** (S/m)



Model transmisyjny - równania

Równania telegrafistów są parą liniowych równań różniczkowych opisujących napięcie u na linii i prąd i , zmieniające się w czasie i przestrzeni:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -R i - L \frac{\partial i}{\partial t} \qquad \frac{\partial i}{\partial x} = -G u - C \frac{\partial u}{\partial t}$$

Te równania mogą być zredukowane do jednego równania zawierającego parametry τ , ξ , and v :

$$\tau = RC + GL \qquad \xi = RG \qquad v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Podstawienie tłumionej fali do tego równania prowadzi do następującego równania dyspersji fal w linii transmisyjnej i współczynnika tłumienia α zależnego od impedancji η

$$k^2 = \frac{\omega^2}{v^2} - \xi - i\omega\tau \qquad \alpha \cong \frac{1}{2} \left(\frac{R}{\eta} + G\eta \right) \qquad \text{gdzie} \quad \eta = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Propagacja fal Alfvéna w reprezentacji linii transmisyjnych

Porównujemy relacje dyspersji fal Alfvéna (k równoległe do B) i fal rozchodzących się w liniach transmisyjnych:

$$k^2 = \frac{\omega^2}{v_A^2} - i \frac{\omega^3}{\mu_0 \sigma v_A^4} \equiv k^2 = \frac{\omega^2}{v^2} - \xi - i\omega\tau \quad = > \mathbf{G=0}$$

$$k^2 = \frac{\omega^2}{v_A^2 + i \frac{\omega}{\mu_0 \sigma}}$$

I wykorzystujemy charakterystyczne własności fal Alfvéna i linii transmisyjnych:

$$\tau = RC = \frac{\omega^2}{\mu_0 \sigma \cdot v_A^4} \quad v_A = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad \eta_A = \frac{E}{H} = v_A \mu_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad = > \mathbf{L, C, R}$$

Ta procedura prowadzi do następujących parametrów
“Alfvénowskiej” linii transmisyjnej:

$$G = 0 \quad L = \mu_0 \quad C = \frac{1}{\mu_0 \cdot v_A^2} \quad R = \frac{\omega^2}{\sigma \cdot v_A^2}$$

$$\eta_A \approx 0.4 \Omega \quad L = 1.26 \cdot 10^{-12} \text{ H / m} \quad C \approx 8 \cdot 10^{-6} \text{ F / m} \quad R \approx 2 \cdot 10^{-13} \omega^2 \Omega / m$$

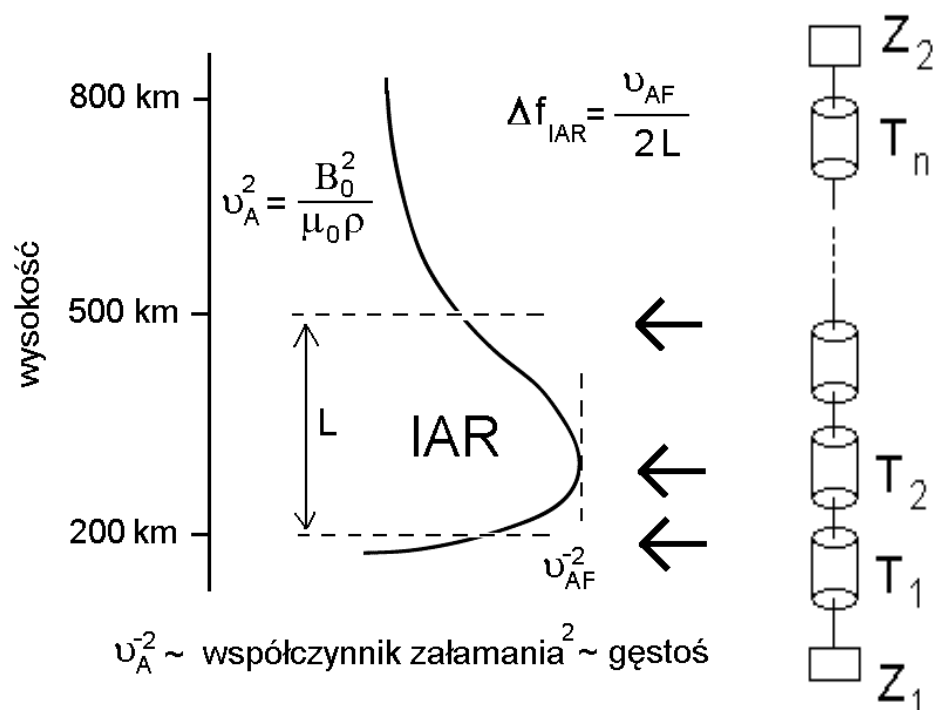
Model transmisyjny jonosferycznego rezonatora Alfvéna (IAR)

IAR – powstaje w wyniku odbić fal Alfvéna, propagujących się wzdłuż linii pola magnetycznego, w górnej jonosferze na gradiencie gęstości plazmy jonosferycznej i odbić od przewodzącej dolnej jonosfery

□ Konstruujemy „jonosferyczną linię transmisyjną Alfvéna” jako szereg segmentów transmisyjnych $T_1, T_2, \dots, T_n$ o parametrach (L_i, C_i, R_i, G_i) wzdłuż linii pola magnetycznego

□ W jonosferze gęstość oraz pole magnetyczne Ziemi – a z tym prędkość fal Alfvéna – zmienia się z wysokością, przewodnictwo także – a więc R i C także się zmieniają z wysokością

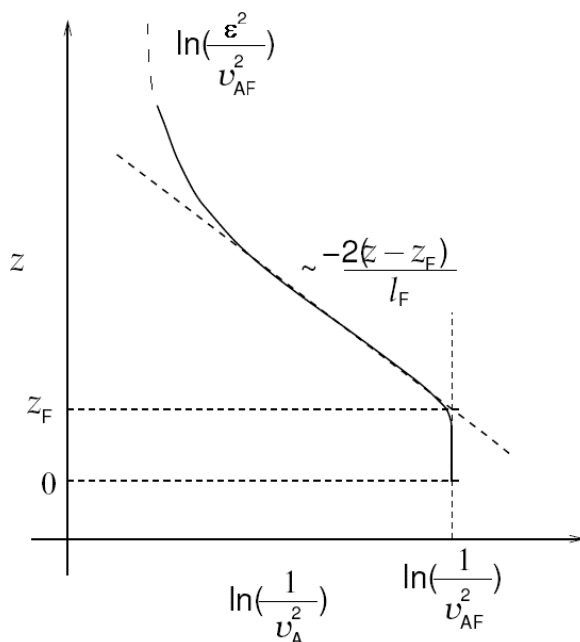
□ Na końcach linii umieszczamy dwie impedancje (właściwie rezystancje) o wartościach, by symulowały (współczynniki) odbicia fal Alfvéna; dla średnich szerokości:
 $Z_1 \gg \eta_1$ ($r = +1$), natomiast $Z = \eta_2$



Modelowy profil prędkości Alfvéna

Dla przetestowania właśnie wyprowadzonych formuł użyjemy analitycznego profilu (Lysak, 1981; Polyakov and Rapoport, 1980)

- v_{AF} – prędkość Alfvéna w maksimum warstwy F
- z_F – grubość warstwy o w przybliżeniu stałej prędkości wokół maksimum F
- l_F – stała wzrostu prędkości z wysokością
- ϵ^2 – stosunek prędkości Alfvéna w warstwie F do prędkości w górnej jonosferze (mówi jak duży jest gradient)



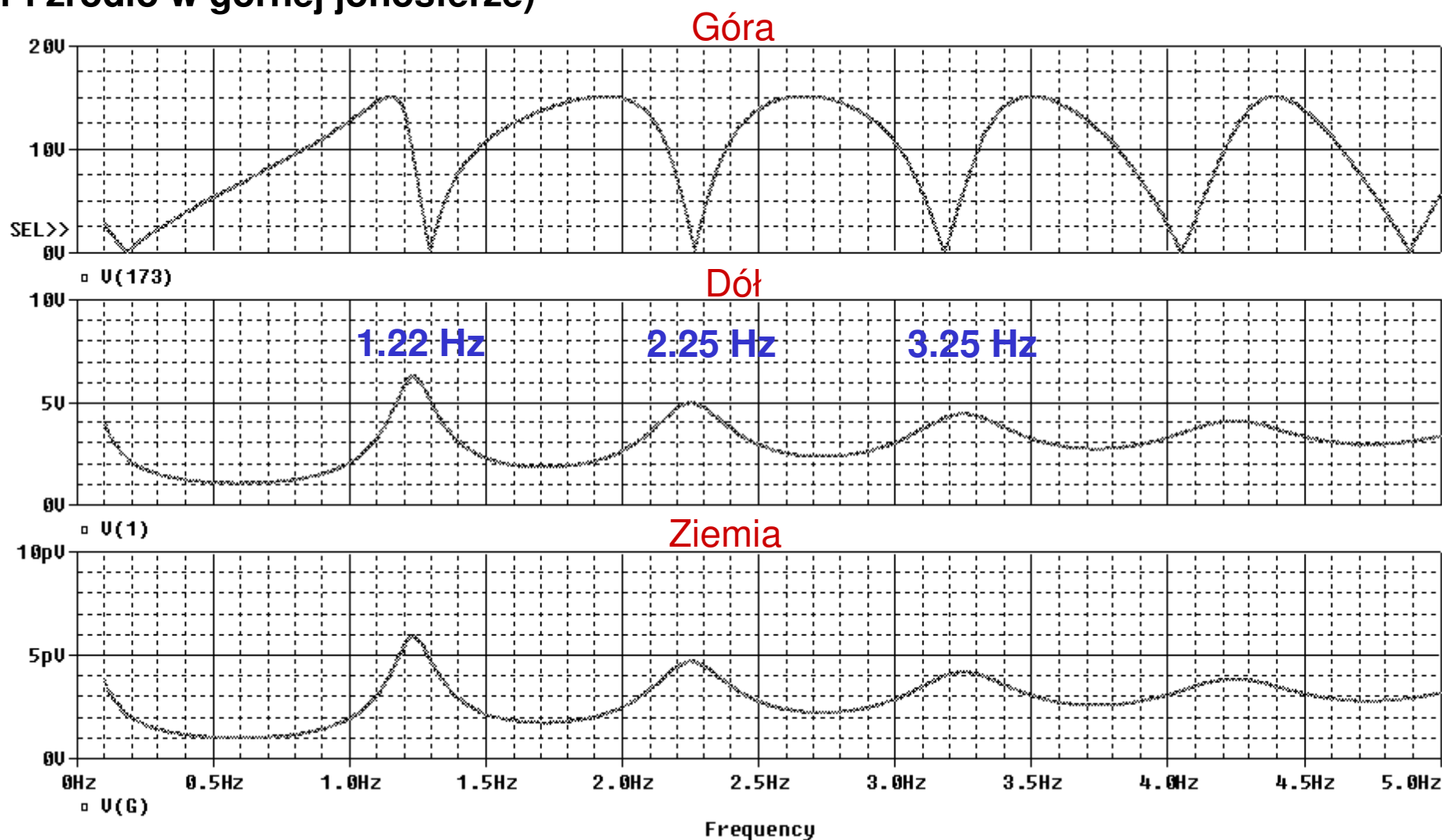
$$f_n = \Delta f \frac{\zeta_n}{\pi}$$

$$\Delta f = \frac{v_{AF}}{2(z_F + l_F)}$$

Widma IAR w PSpice (1)

Przykład: Nocna jonosfera na średnich szerokościach w minimum słonecznym

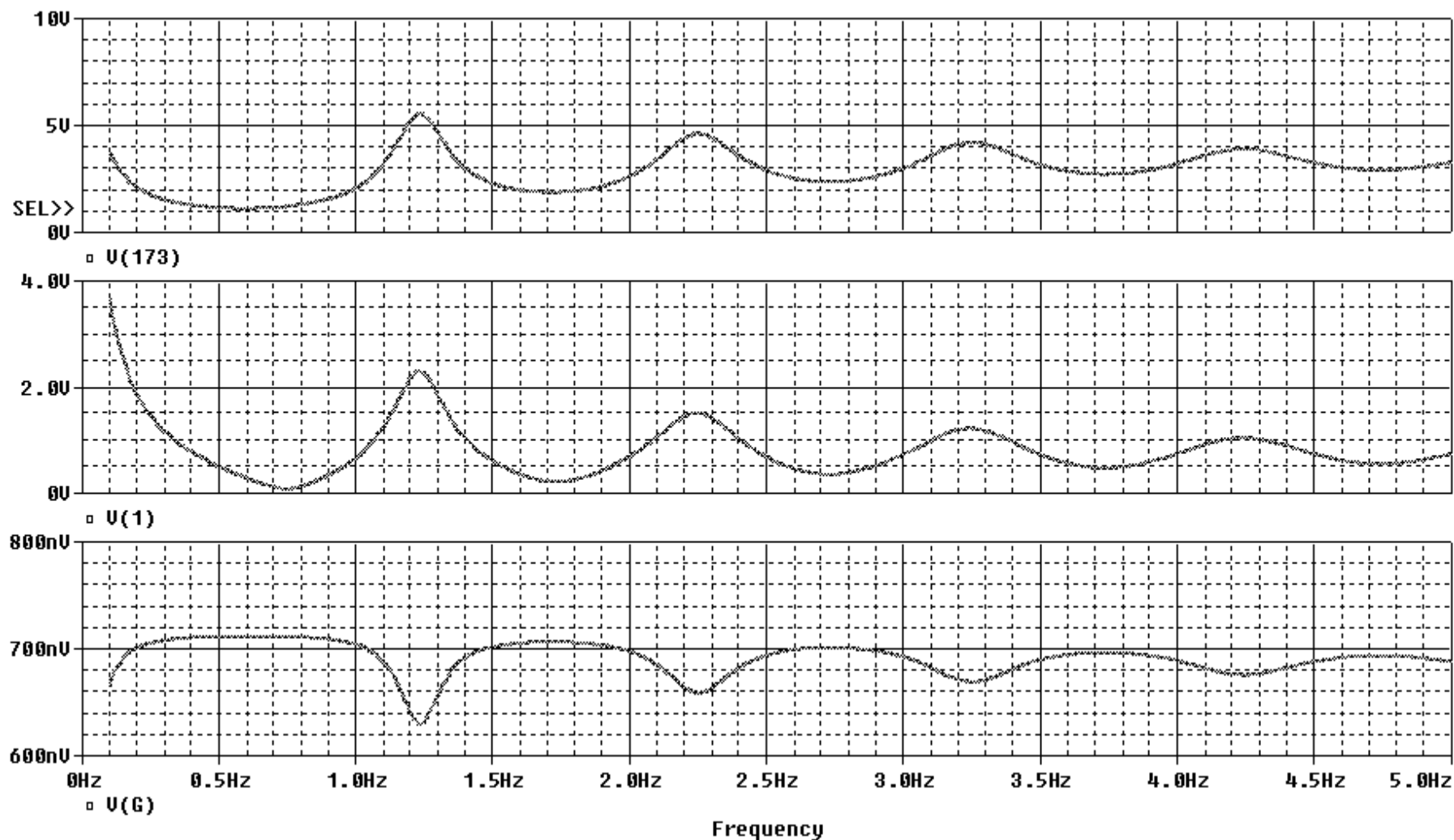
Parametry profilu prędkości Alfvéna: $v_{AF} = 600$ km/s, $z_F = 50$ km, $l_F = 250$ km, $\varepsilon^2 = 0.01-0.05$ ($\Delta f = 1$ Hz) Start: 280 km Stop: 2000 km; Współczynnik odbicia od dołu $r \approx 1$ i źródło w górnej jonosferze)



Widma IAR w PSpice (2)

Ten sam przykład ze źródłem w dolnej jonosferze

Współczynnik odbicia od dolnej jonosfery $r \approx 1.0$, na następnym wykresie 0.86



Symulacje: Wnioski i zadania na przyszłość

- ☐ **Jonosferyczny rezonator Alfvéna i w ogólności propagację fal Alfvéna można modelować za pomocą modelu transmisyjnego i jego realizacji w PSpice.**
- ☐ **W chwili obecnej działa wersja 2.1 symulatora IAR wykorzystująca profil prędkości Alfvéna wyliczanego z modelu IRI (powyżej 80 km) i IGRF oraz profilu przewodnictwa ($\sigma_{\parallel}$, Σ_p) z pokrewnego modelu przewodnictwa z WDC Kyoto.**

W przyszłości można:

- ☐ **Użyć bardziej realistycznych parametrów jonosfery – najlepiej z pomiarów raczej niż z modeli.**
- ☐ **Wprowadzić przewodności Pedersena and Hall oraz srężenie fal z modelem magnetoakustycznym.**
- ☐ **Zasymulować IAR z różnymi realistycznymi opcjami wzbudzania rezonatora, w dodatku na różnych szerokościach.**



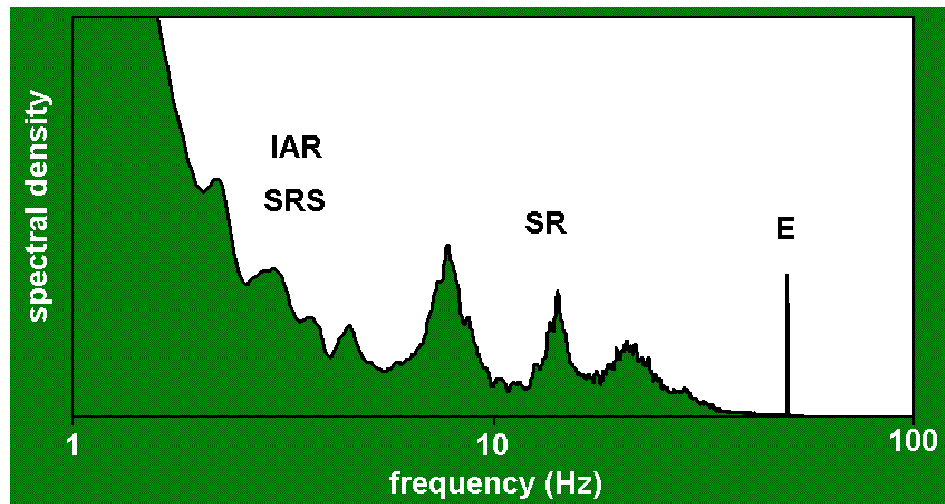
Część II

Obserwacje

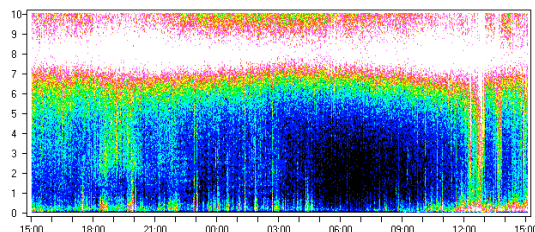
XIII Spotkania Bieszczadzkie
“Pola ULF/ELF na Ziemi i w przestrzeni kosmicznej”
Dworniczek, 17–20 czerwca 2008

Obserwacje IAR w Hylatym 1996-2003

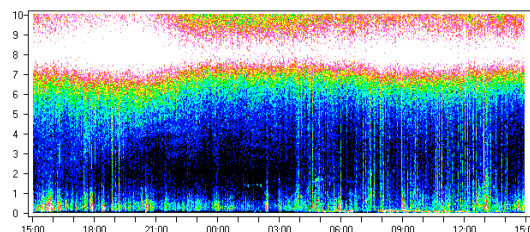
2003.11.06 01:55 UT



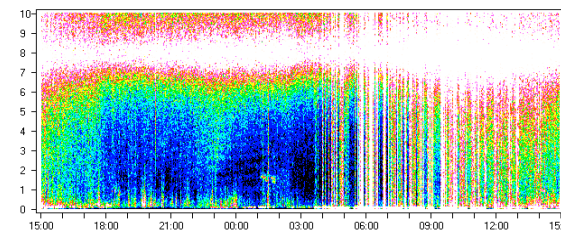
□ SRS IAR w zakresie 0.5 – 6 Hz



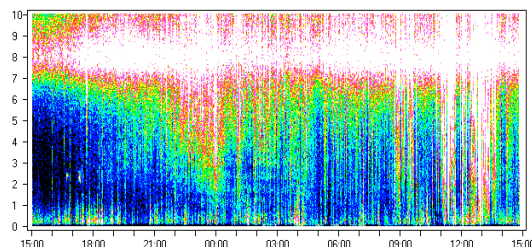
29/30.08.2002



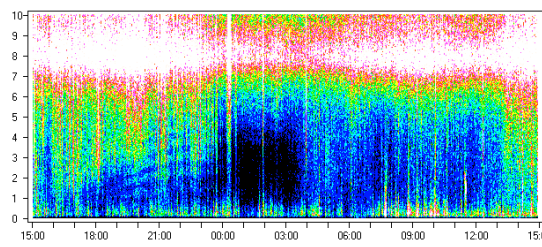
29/30.09.2002



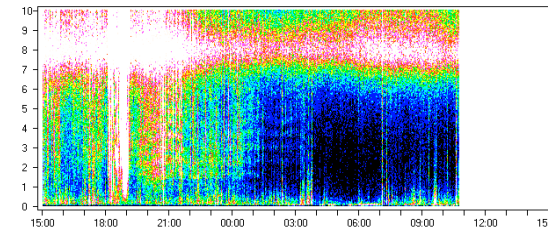
8/9.08.2003



4/3.10.2003

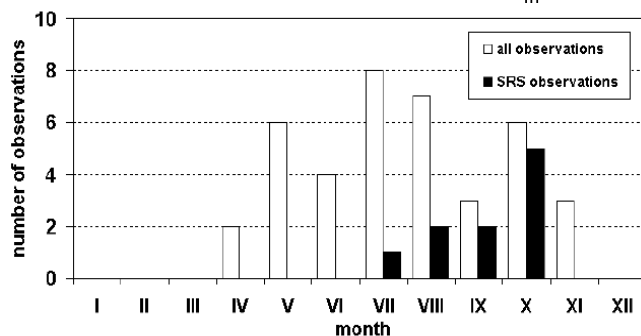
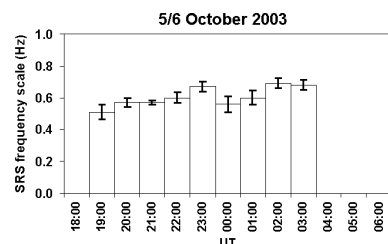
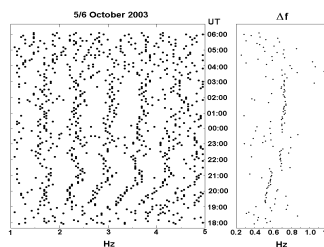
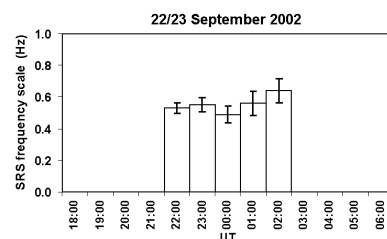
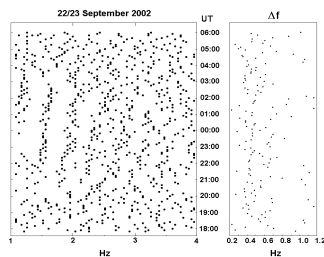
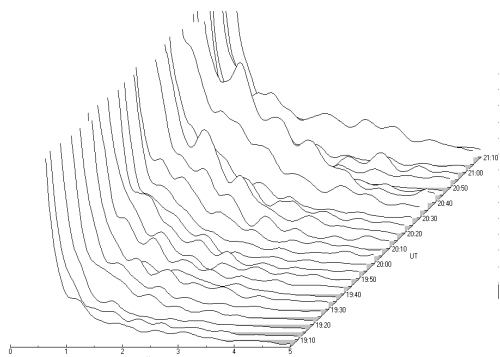


4/5.10.2003



5/6.10.2003

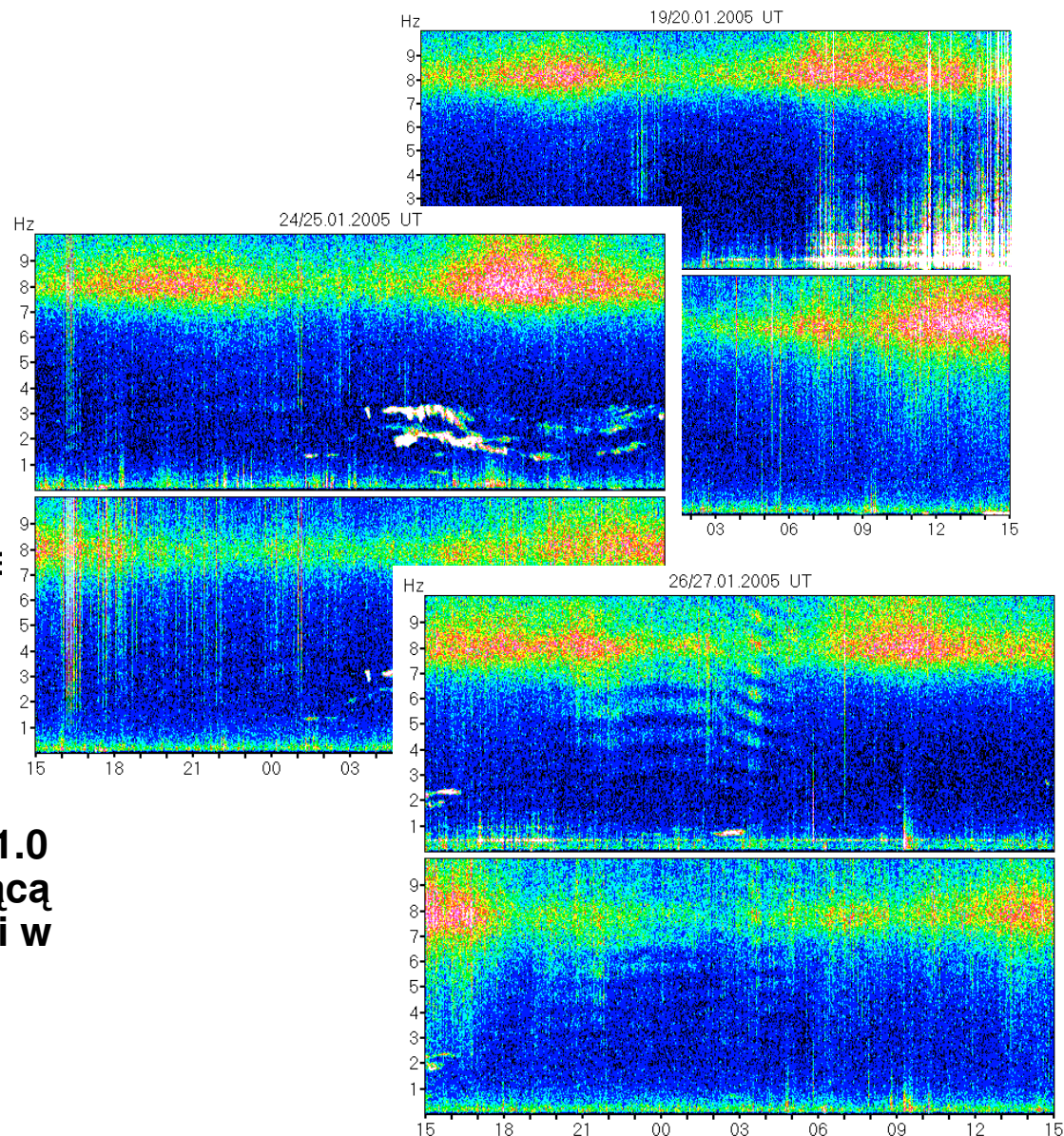
Analiza obserwacji 2001-2003 – parametry SRS IAR - Hylaty



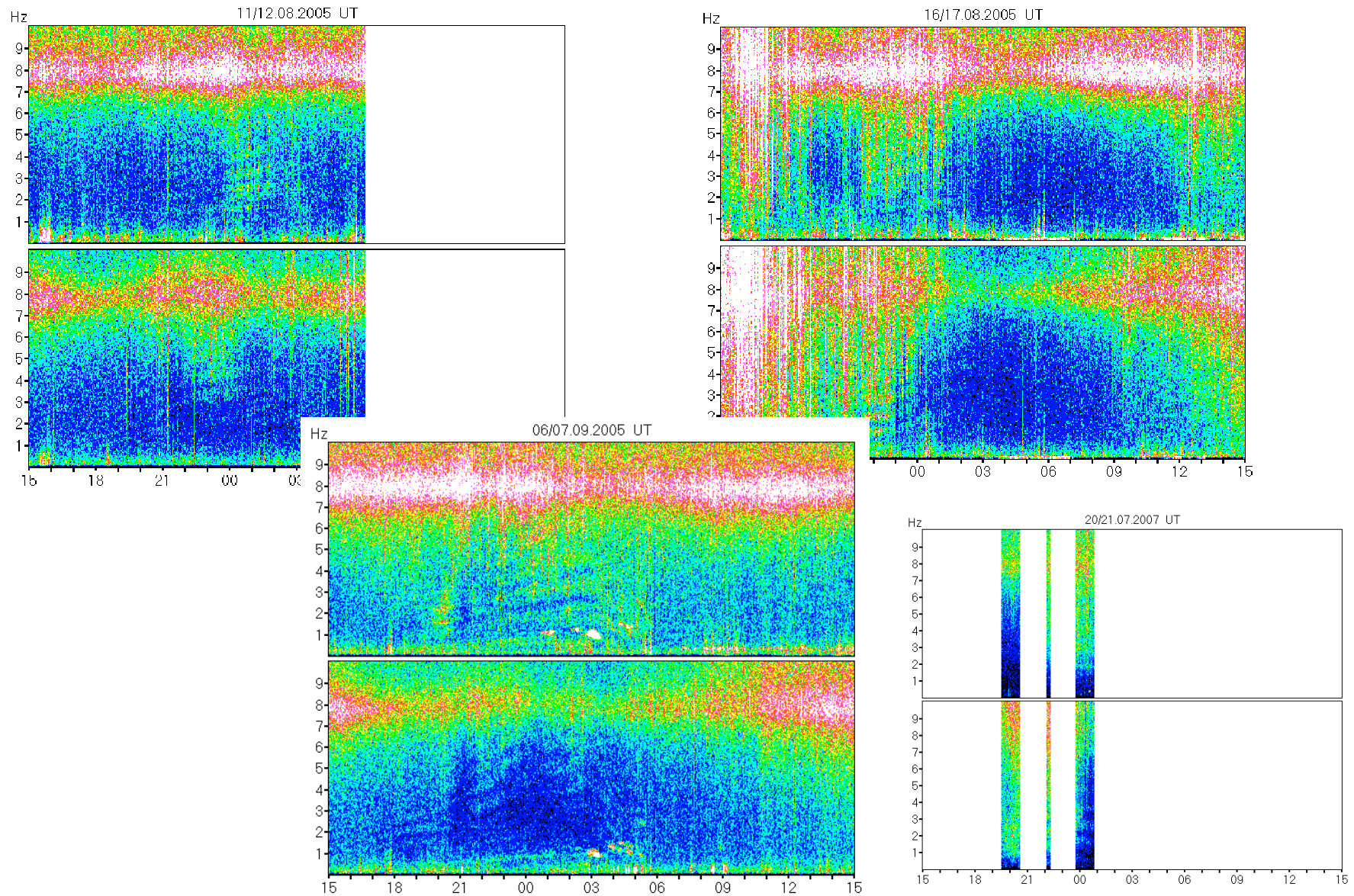
- SRS IAR w Hylatym obserwowano tylko w godzinach wieczornych i nocnych.
- Raczej w dniach niskiej aktywności magnetycznej i niskiej aktywności słonecznej.
- W latach 2001-2003 Δf zmieniało się w granicach 0.4-0.8 Hz, w zależności od pory roku i godziny.
- Wciąż sporadyczne obserwacje nie pozwalały na badanie co mogło wzbudzać rezonator i analizę na przekroju całego roku i cyklu słonecznego.

Co przynoszą obserwacje z 2005 roku?

- ❑ Przypadki pozwalające na badanie występowania SRS IAR i mikropulsacji (różnego rodzaju) źródła magnetosferyczne?
- ❑ Pierwszy przypadek gdy SRS IAR bardzo wyraźnie rozciąga się na zakres RS
- ❑ Przypadki pozwalające na badanie występowania SRS IAR wzbudzane przez źródła atmosferyczne (wyładowania CG, sprites?)
- ❑ Generalnie jest sporo przypadków SRS IAR, SRS IAR zachowuje się podobnie i ma Δf w przedziale 0.4-1.0 Hz. Widać, że Δf maleje z wzrastającą aktywnością słoneczną w sezonie i w cyklu.



Co przynoszą obserwacje z 2005 roku? (2)



Obserwacje: Wnioski i zadania na przyszłość

☐ Zjawisko SRS IAR jest wciąż obserwowane w Hylatym i nowe obserwacje przynoszą coraz ciekawsze przypadki.

W przyszłości można:

☐ Zakończyć przegląd materiału obserwacyjnego do chwili obecnej i wykonać szczegółową analizę interesujących przypadków.

☐ Na podstawie wniosków z obserwacji pomyśleć o możliwych scenariuszach wzbudzania IAR i zasymulować je.

☐ Zaprojektować system do bieżącego przeglądu danych (spektrogramów).

☐ Zastanowić się nad zbiorem i gromadzeniem oraz analizą innych danych obserwacyjnych, z którymi należy porównywać przypadki SRS IAR.