



**Zatrzymane erupcje i przyspieszanie elektronów.
Obserwacje w zakresie EUV i HXR.**

T.Mrozek, A.Netzel, S.Kołomański, S.Gburek

09:14:05

09:14:32

09:14:44

09:15:01

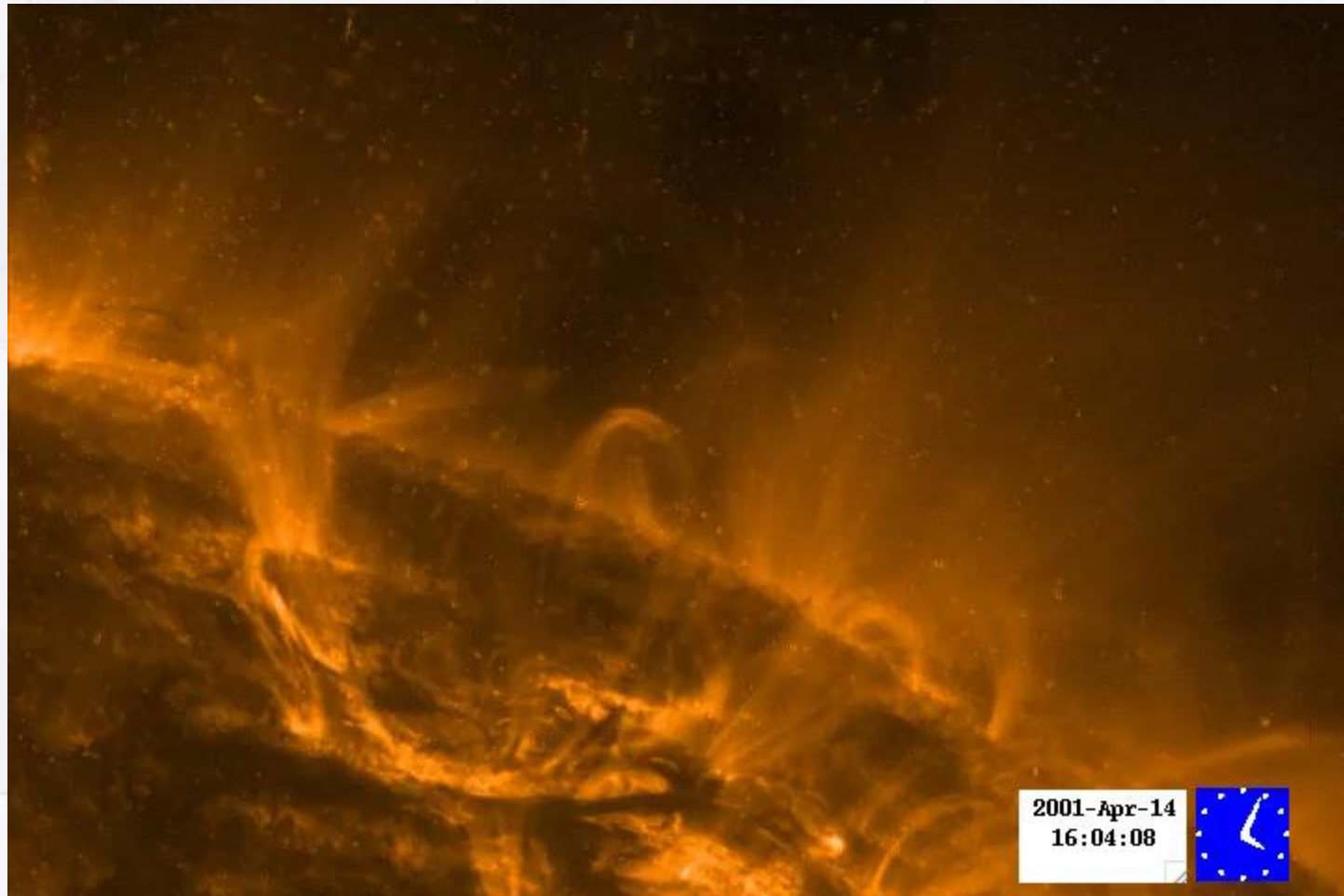
09:15:27

09:23:18

09:26:02

09:38:57

Typy erupcji



Gilbert, H. R., Alexander, D., i Liu, R. 2007, *Sol. Phys.*, 45, 287:

1. **Pełna** - większość ($\geq 90\%$) masy włókna i pola magnetycznego ucieka w przestrzeń międzyplanetarną

2. **Częściowa:**

- klasa A – erupcja całej struktury magnetycznej wraz z częścią masy
- klasa B – częściowa erupcja struktury magnetycznej z niewielką ilością masy

3. **Zatrzymana** – ani materia, ani struktura magnetyczna nie opuszczają Słońca

Mechanizmy prowadzące do zatrzymania erupcji

● **niestabilność wyboczeniowa**

Török i Kliem 2005, ApJ, 630, L97

● **osiągnięcie innego stanu równowagowego**

*Vršnak 2001, J. Geophys. Res., 106, 25249;
Green i in., 2002, Sol. Phys., 205, 325*

● **siły działające w strukturze erupcji**

Vršnak 1990, Sol. Phys., 129, 295

● **naprężenie magnetyczne i wymiana pędu z otaczającymi strukturami**

*Wang i Sheeley 1992, ApJ, 392, 310;
Archontis i Török 2008, A&A, 492, L35*

● **zbyt mała energia wydzielona w zjawisku stowarzyszonym (rozbłysk)**

Shen i in. 2011, Res. in Astr. and Astroph., 11, 594

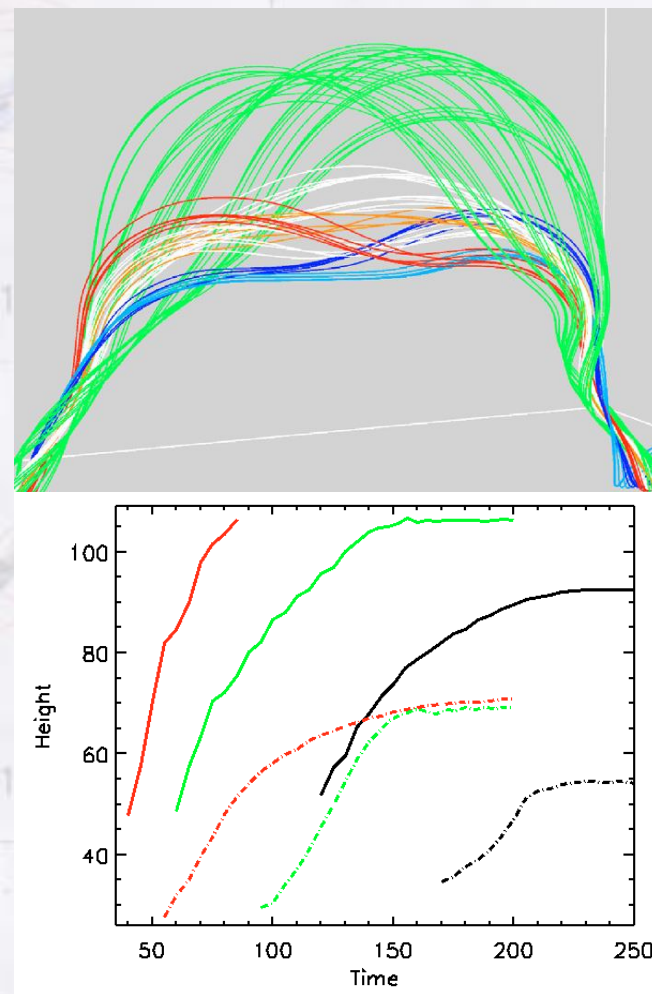
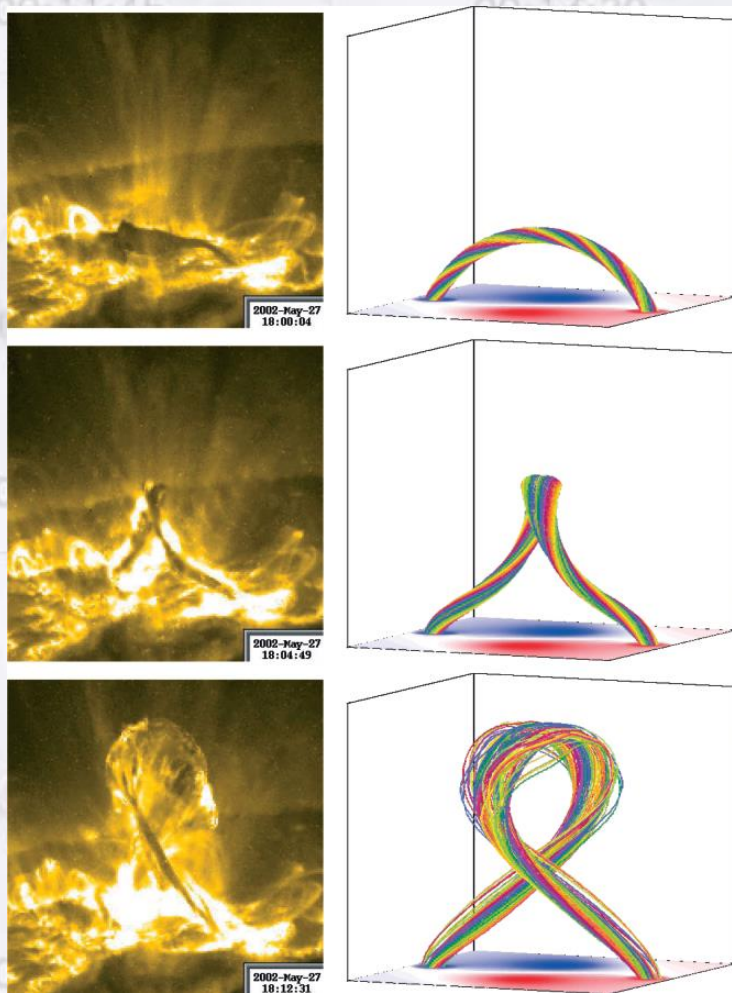
● **„uwięzienie” przez otaczające struktury magnetyczne**

*Hirose i in. 2001, ApJ, 551, 586;
Wang i Zhang 2007, ApJ, 665, 1428;
Liu 2008, ApJ, 679, L151;
Mrozek 2011, Sol. Phys., 270, 191*

Znaczenie otaczającego pola magnetycznego

Spadek pola z wysokością jest kluczowym elementem prowadzącym do zatrzymania erupcji

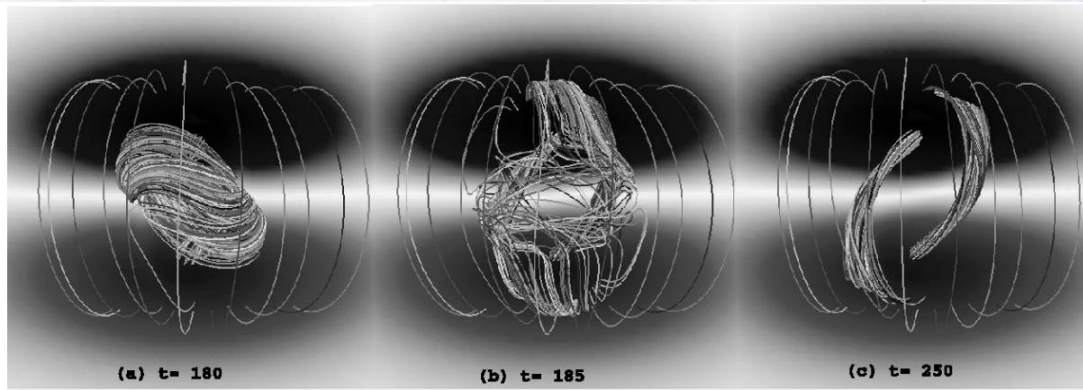
Török i Kliem 2005, ApJ, 630, L97



Ewolucja rury magnetycznej po wypłynięciu jest zależna od otaczającego pola magnetycznego

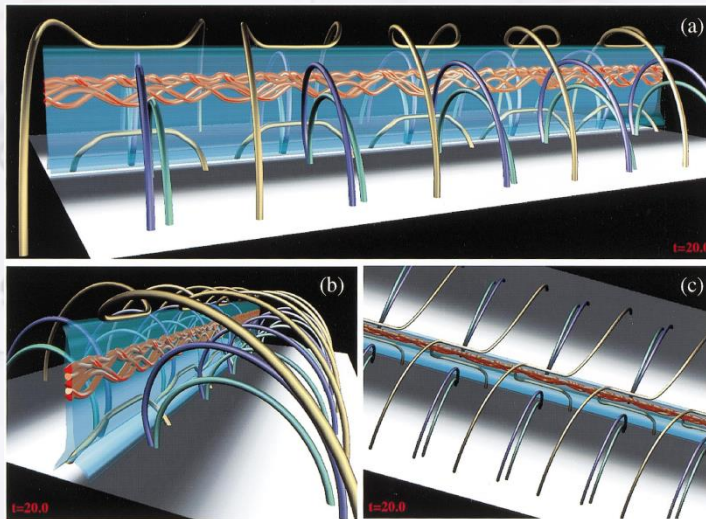
Archontis i Török 2008, A&A, 492, L35

Znaczenie otaczającego pola magnetycznego



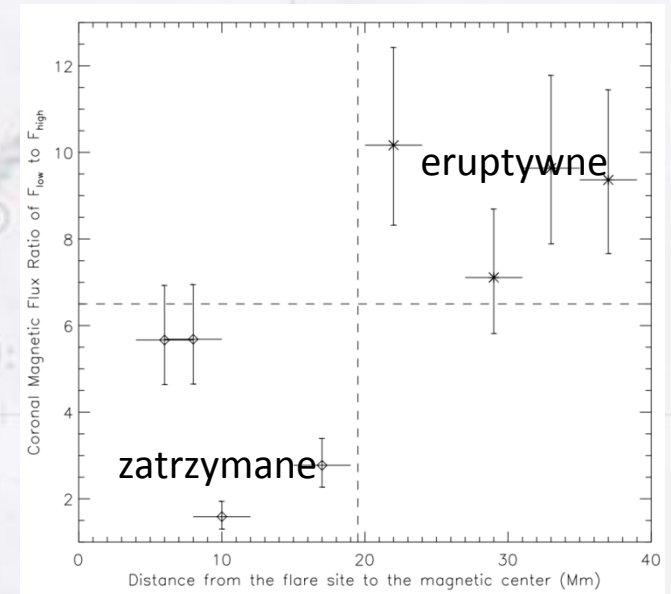
„... struktura magnetyczna ulegająca erupcji może ulec przetłoczeniu z otaczającą arkadą i zostać zatrzymana...”

Amari i Luciani 1999, ApJ, 515, L81



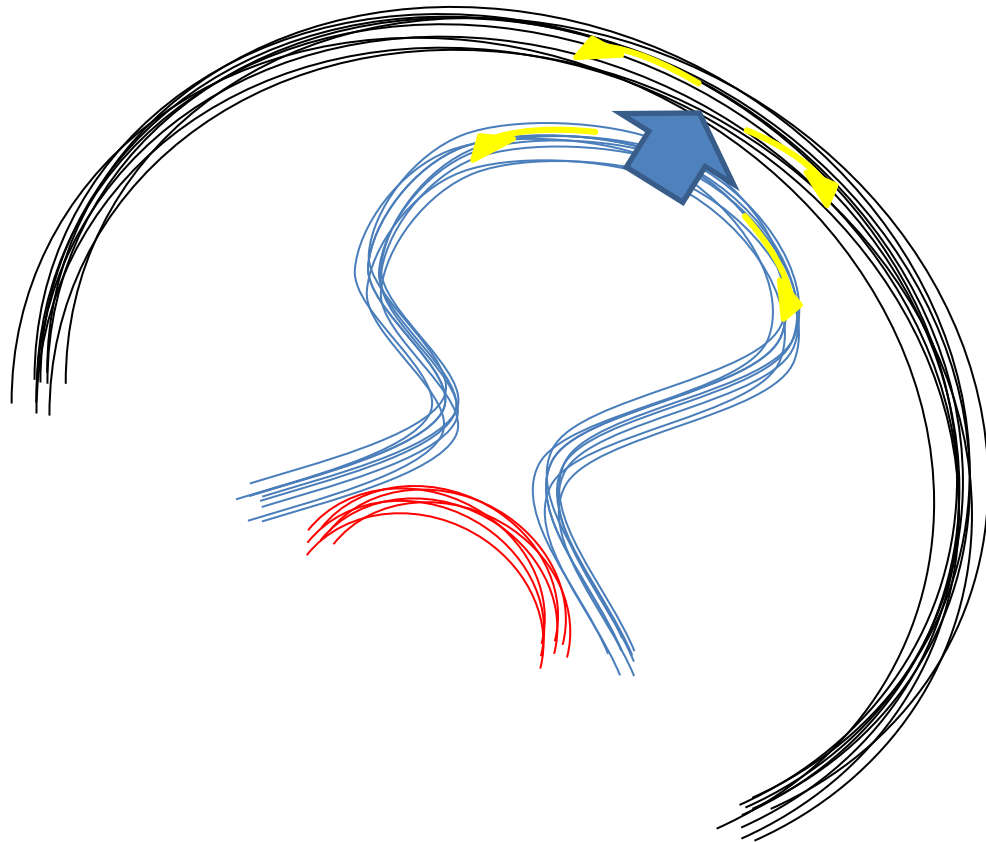
„...ruch włókna w górę może zostać powstrzymany przez otaczające zamknięte pole magnetyczne.”

Hirose i in. 2001, ApJ, 551, 586



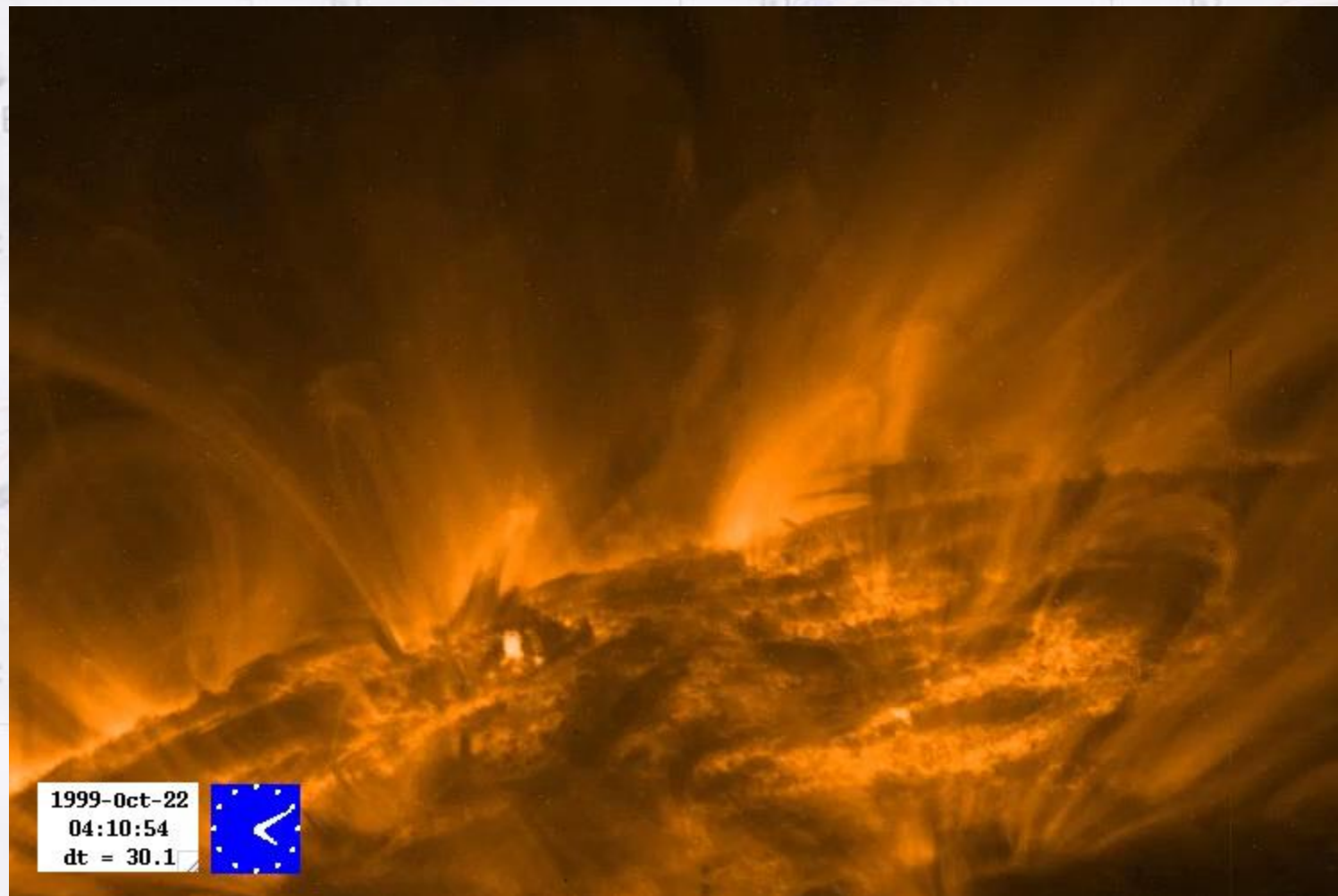
Zatrzymane erupcje są obserwowane bliżej centrum obszaru aktywnego

Wang i Zhang 2007, ApJ, 665, 1428



Zakładając, że podczas ewolucji erupcji dochodzi do oddziaływania z otaczającym polem spodziewamy się znaleźć efekty wskazujące na pojawienie się wiązek przyspieszonych cząstek.

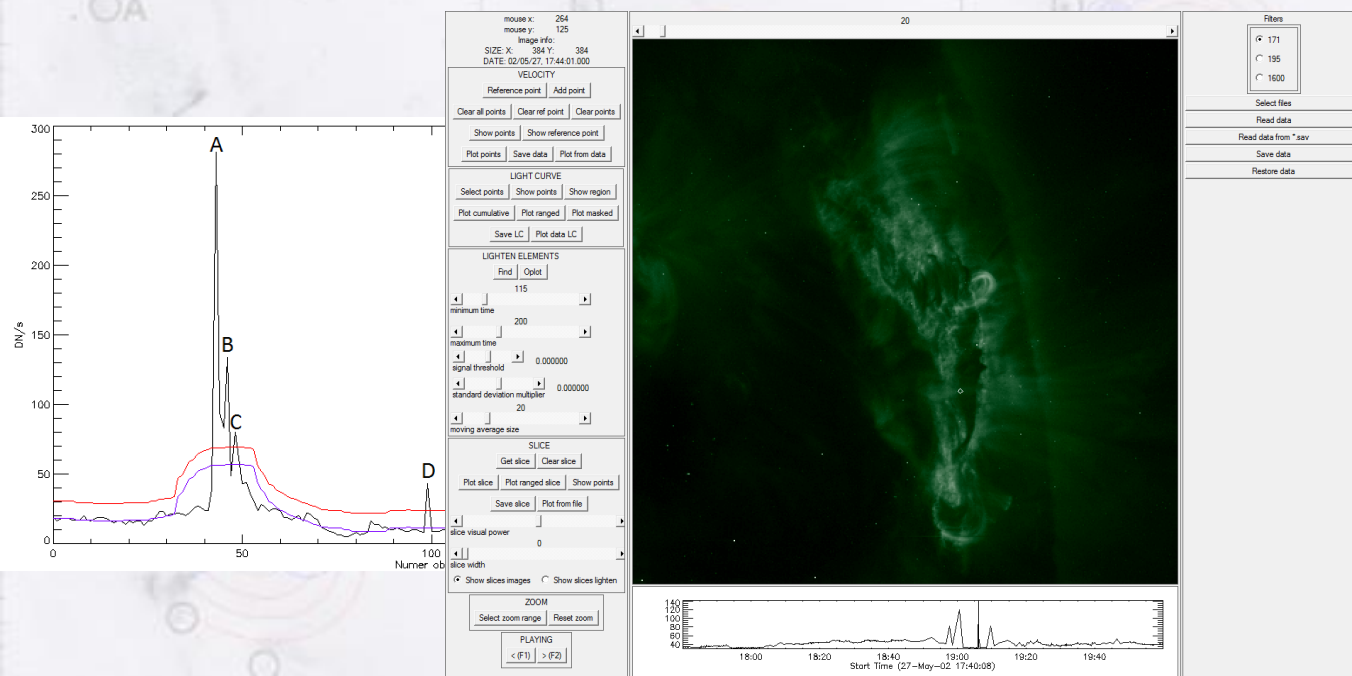
Jeśli nietermiczne elektrony pojawią się w otaczającej strukturze magnetycznej to powinniśmy spodziewać się pojaśnień widocznych daleko od miejsca, w którym pojawia się rozbłysk i stowarzyszona z nim erupcja – brak maskowania przez jaśniejsze struktury.



Przeszukiwanie istniejących baz danych filmów z TRACE

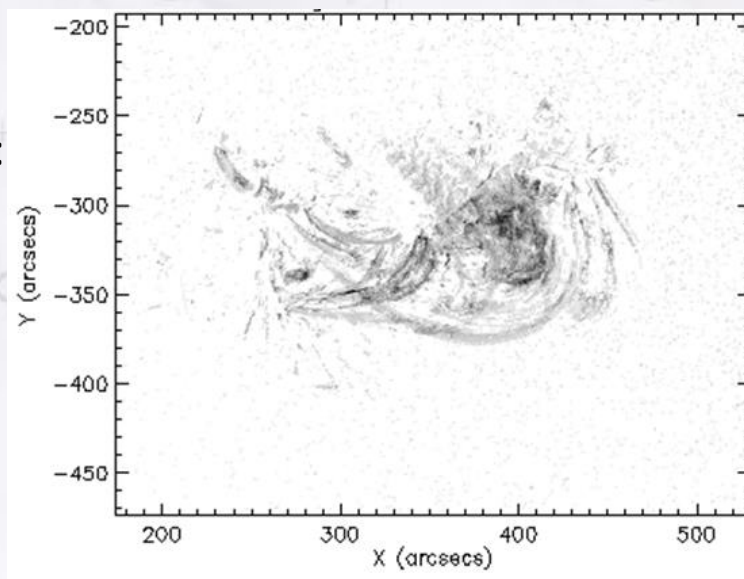
Wytypowanie erupcji zatrzymanych przez otaczające pole magnetyczne (pojaśnienia na małych wysokościach, jaśniejące wysokie pętle kilkadziesiąt minut po erupcji)

Metoda – wyszukiwanie pojaśnień



mapa pojaśnionych pikseli:

- pętle
- erupcja
- źródła dyfrakcyjne
- obszary pojaśnień



Pół-automatyczna metoda

- wyszukiwanie pikseli wykazujących zmiany jasności

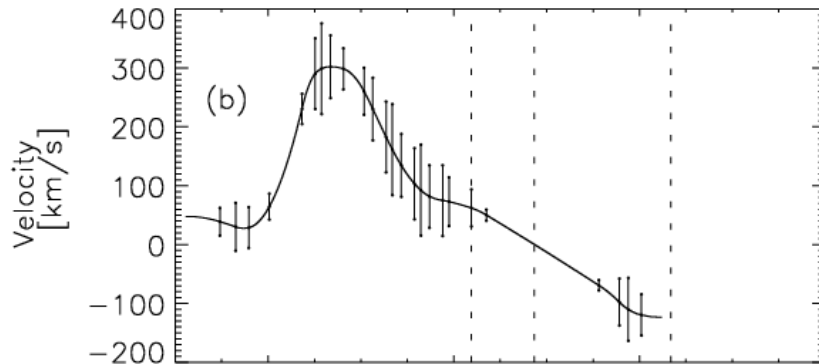
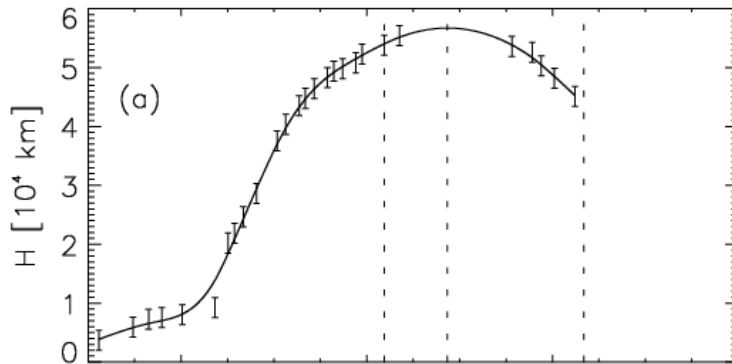
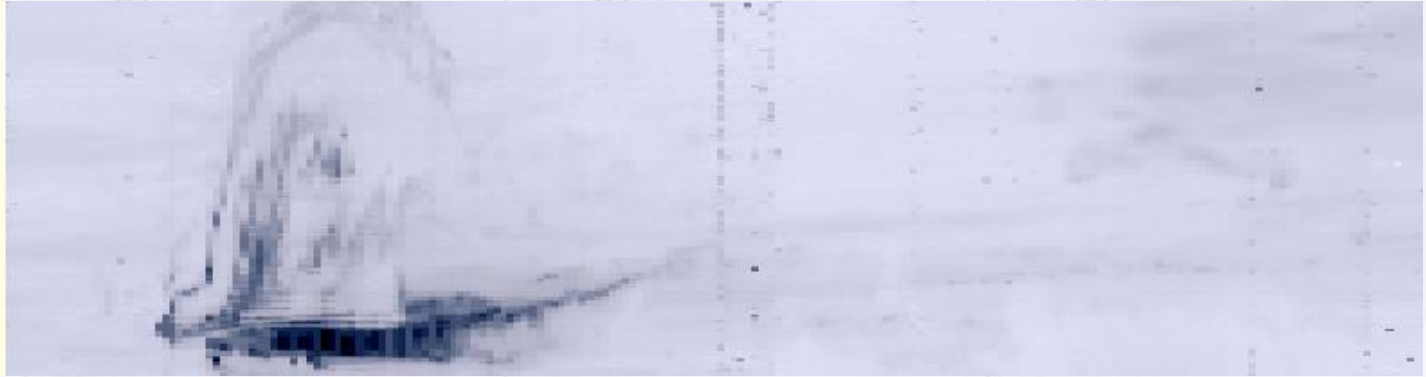
- usuwanie pojedynczych pikseli

- typowanie obszarów pojaśnień z mapy pojaśnionych pikseli

Możliwe zastosowania:

- dane AIA
- automatyczne śledzenie erupcji (efektywniejsza metoda w porównaniu do obrazów różnicowych)

Metoda – prędkość erupcji



Wyznaczenie punktu referencyjnego

Zmiany frontu erupcji z czasem („klikane” przez użytkownika, kilka punktów -> uśrednienie)

Dopasowanie krzywej gładkiej do obserwowanych zmian wysokości -> prędkość (pochodna)

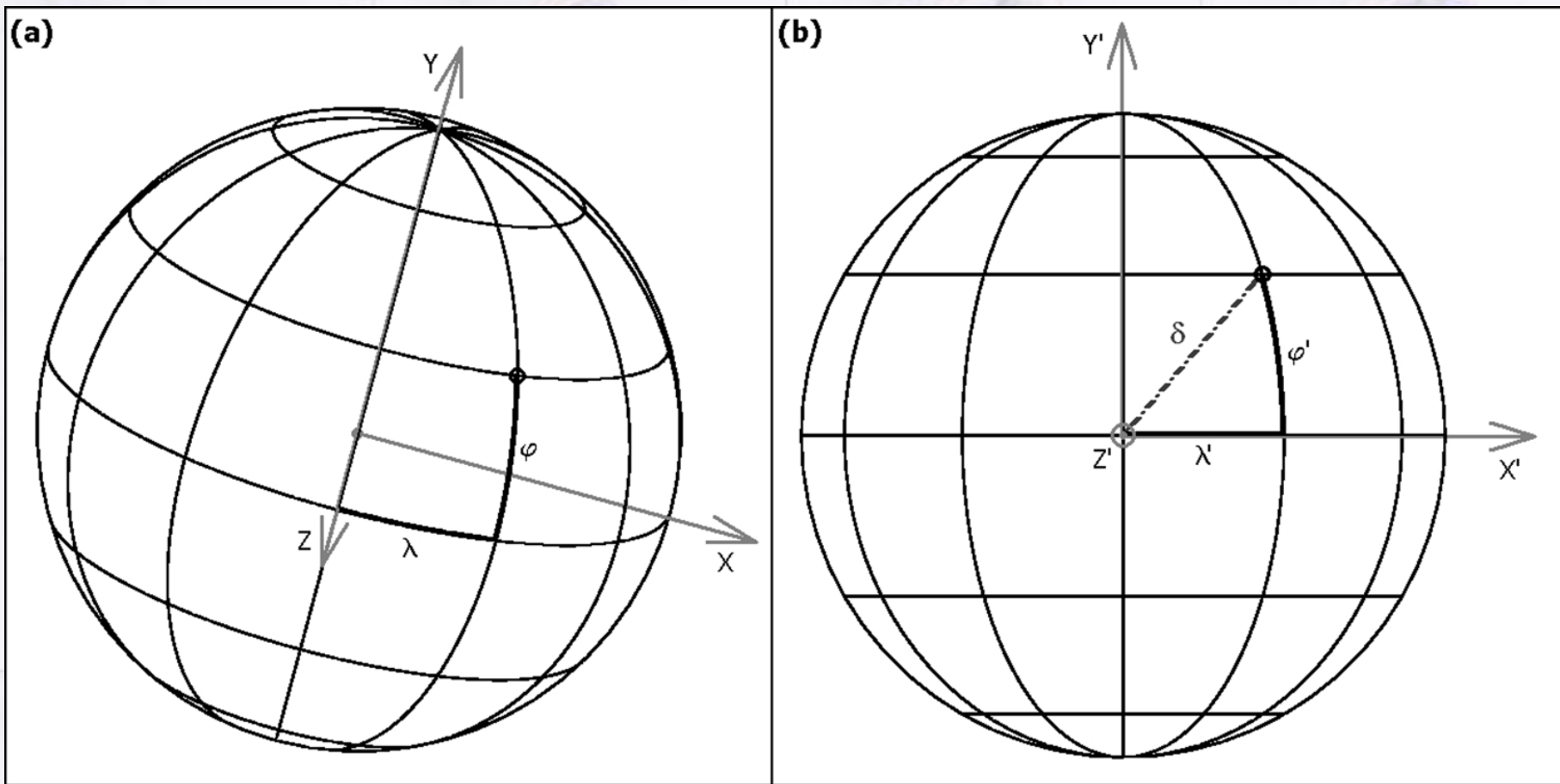
09:15:27

09:23:18

09:26:02

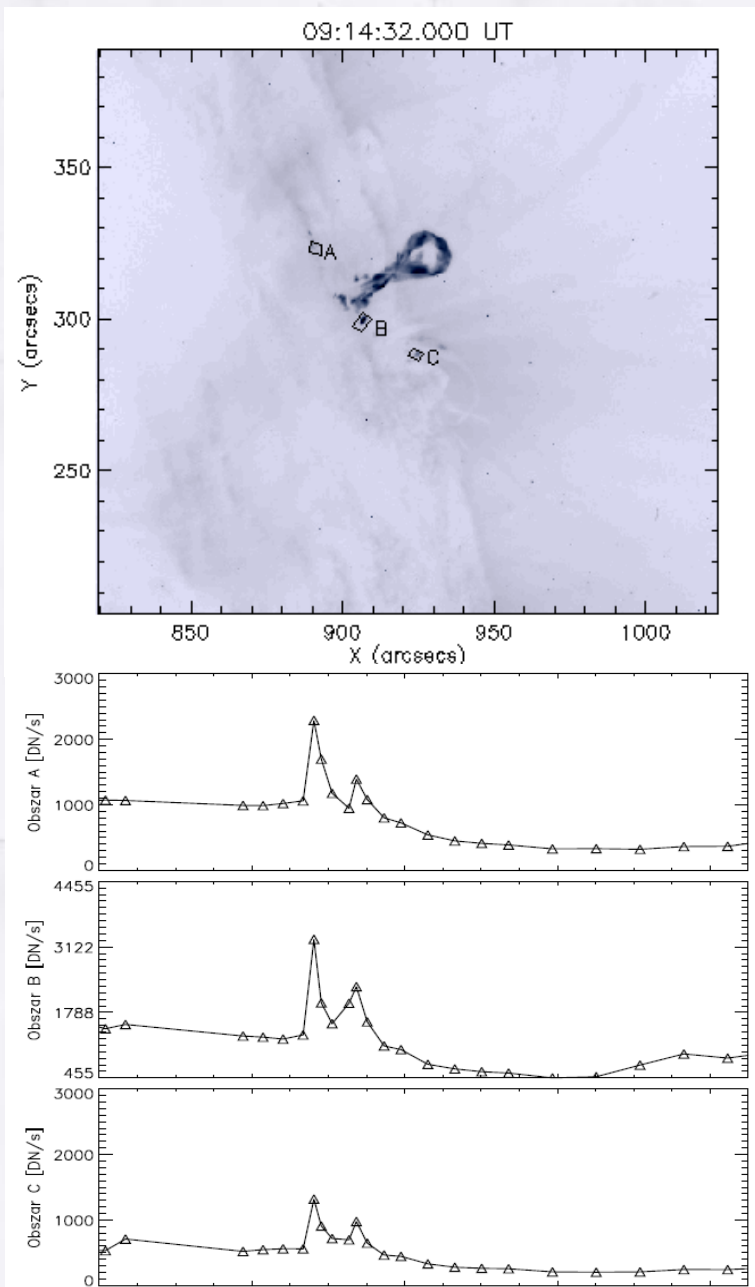
09:38:57

Metoda – poprawa na efekty geometryczne



Metoda z: Kołomański 2004, rozprawa doktorska

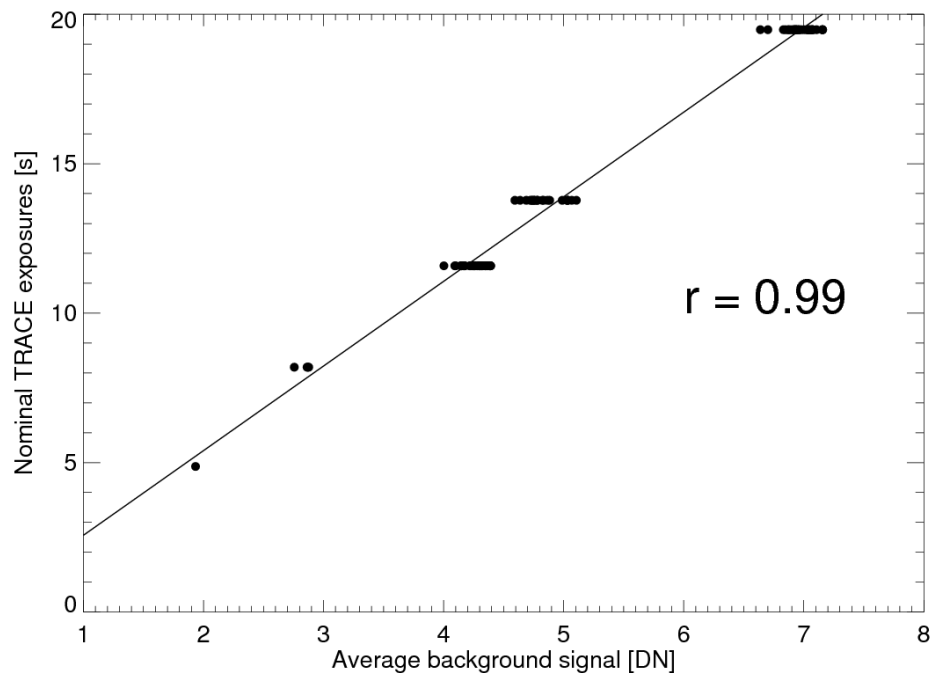
Metoda – zmiany jasności obszarów pojaśnień



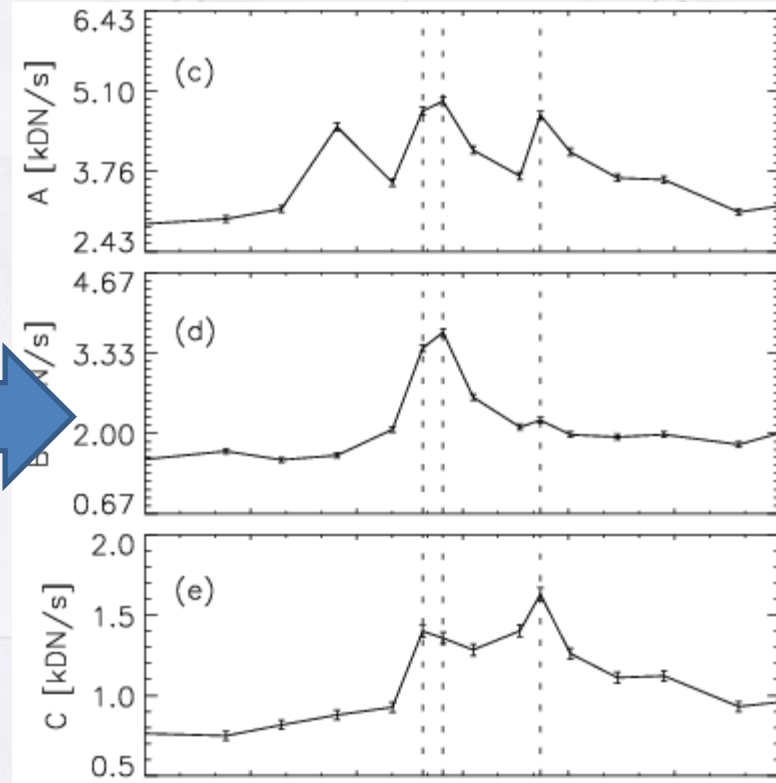
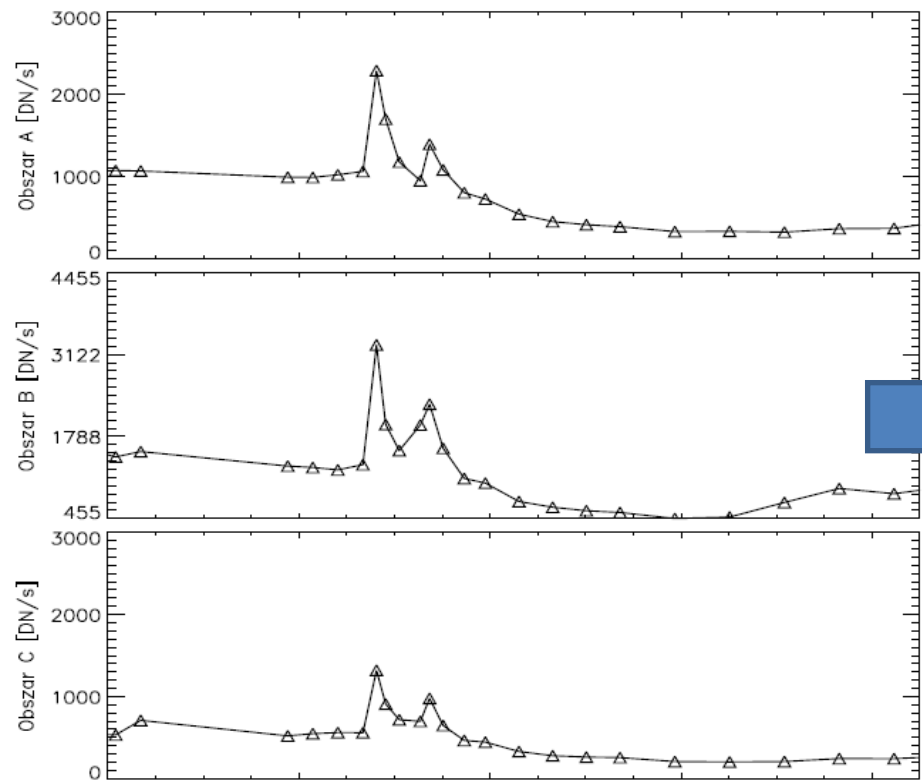
W niektórych przypadkach krzywe blasku były identyczne dla każdego obszaru

Problem związany z normowaniem na czas ekspozycji

Wybór obszaru bez jasnych struktur (tło) -> wyznaczenie poprawki



Metoda – zmiany jasności obszarów pojaśnień



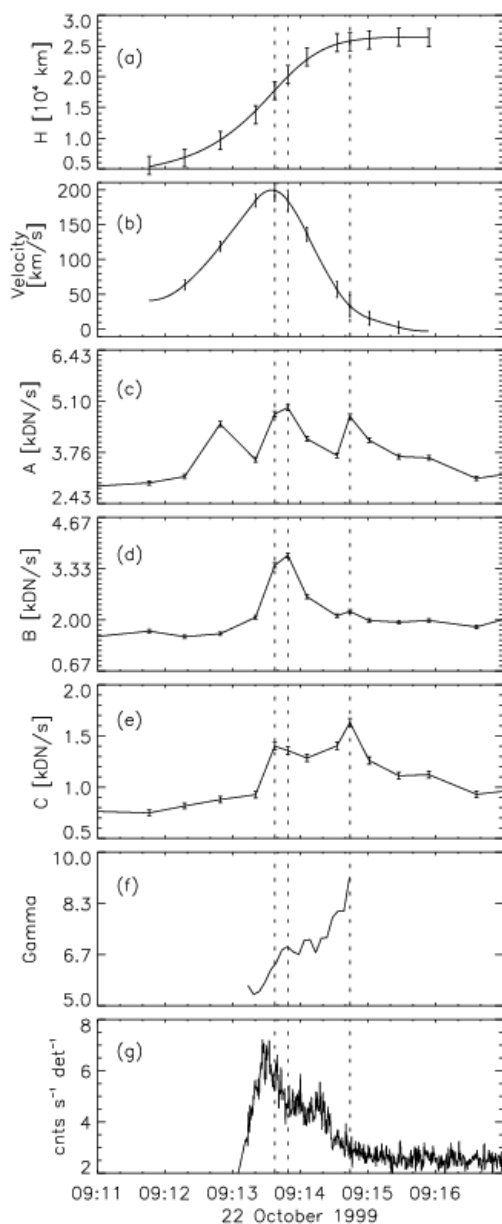
09:15:27

09:23:18

09:26:02

09:38:57

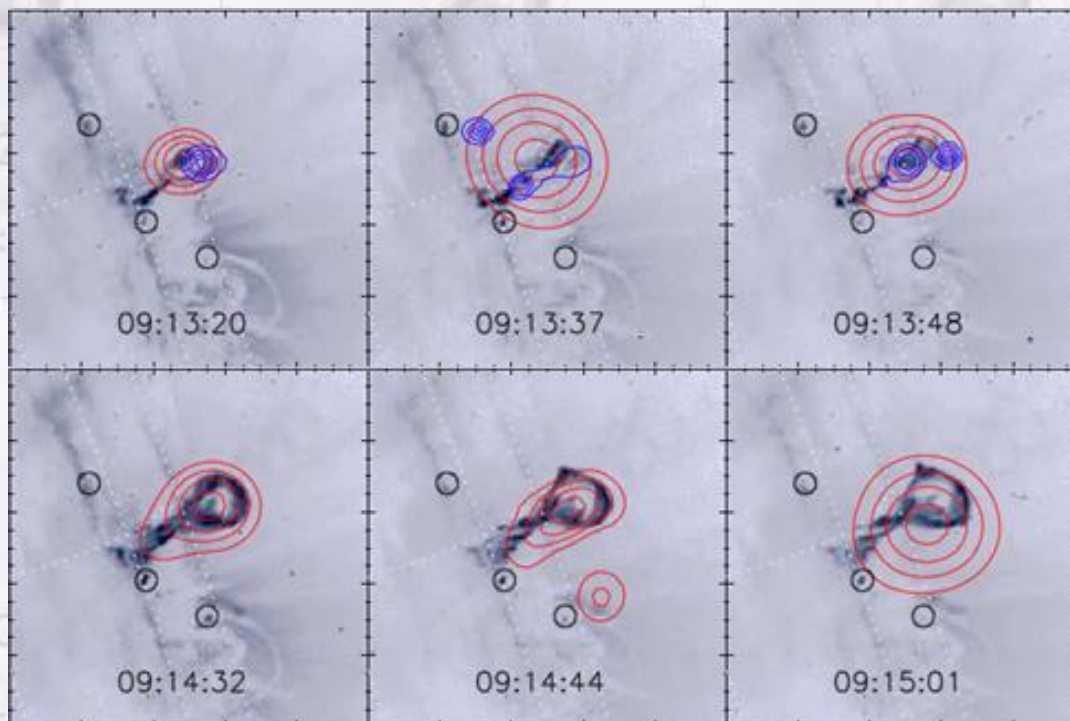
Metoda – obserwacje z innych instrumentów



● YOHKOH/HXT – rekonstrukcja obrazów, krzywe blasku, indeks gamma

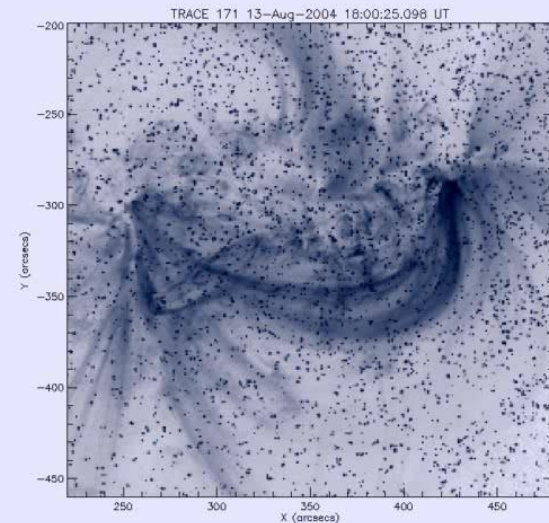
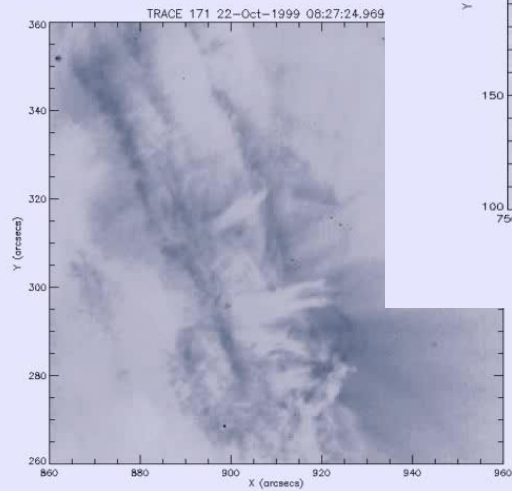
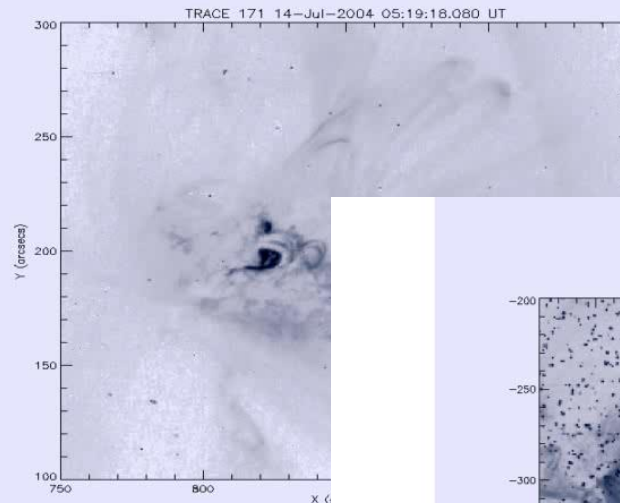
● YOHKOH/SXT – obrazy pokazujące lokalizację gorącej plazmy, szacowanie temperatury (jeden filtr)

● RHESSI – rekonstrukcja obrazów, krzywe blasku, indeks gamma



Wyniki

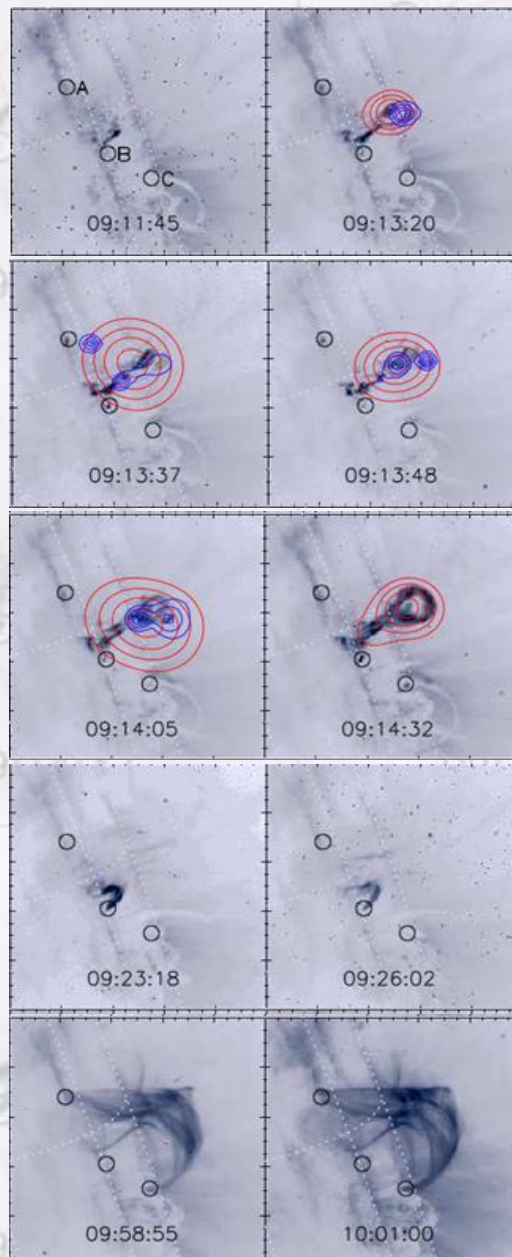
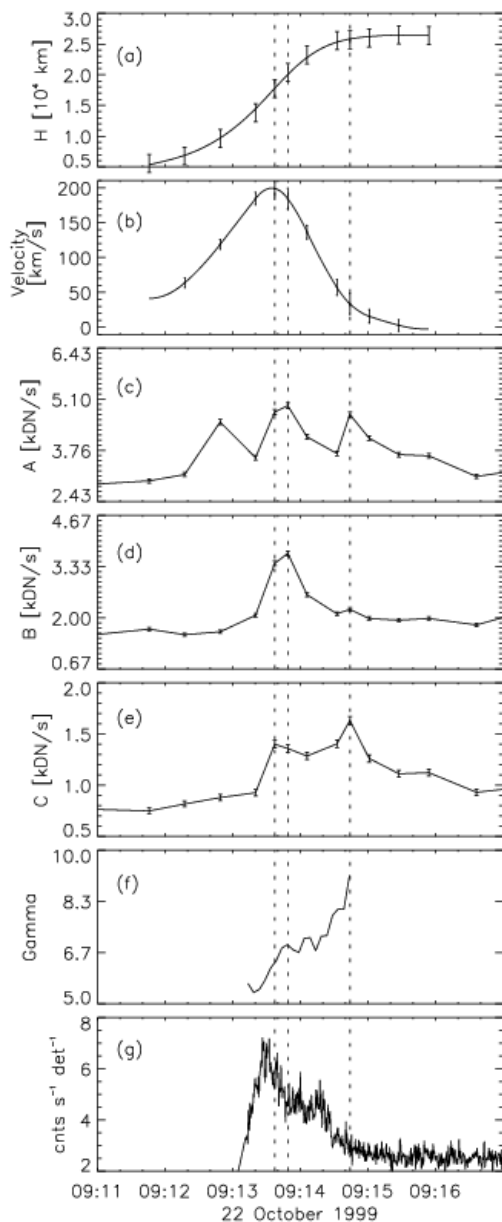
No.	Event	Coordinates	Associated flare				Eruption		CME
			GOES class	start	max	end	start	max	
1	SOL1999-10-22T09:16	N20W76	C4.8	09:10	09:16	09:29	09:11	09:15	No
2	SOL2004-07-14T05:23	N12W62	M6.2	05:02	05:23	05:27	05:19	05:25	No
3	SOL2004-08-13T18:12	S13W24	X1.0	18:07	18:12	18:15	18:11	18:23	Yes



09:15:27

09:23:18

Wyniki – 22 października 1999



22.10.1999

HXT/L 14-23 keV

HXT/M1 23-33keV

Trzy obszary pojaśnień

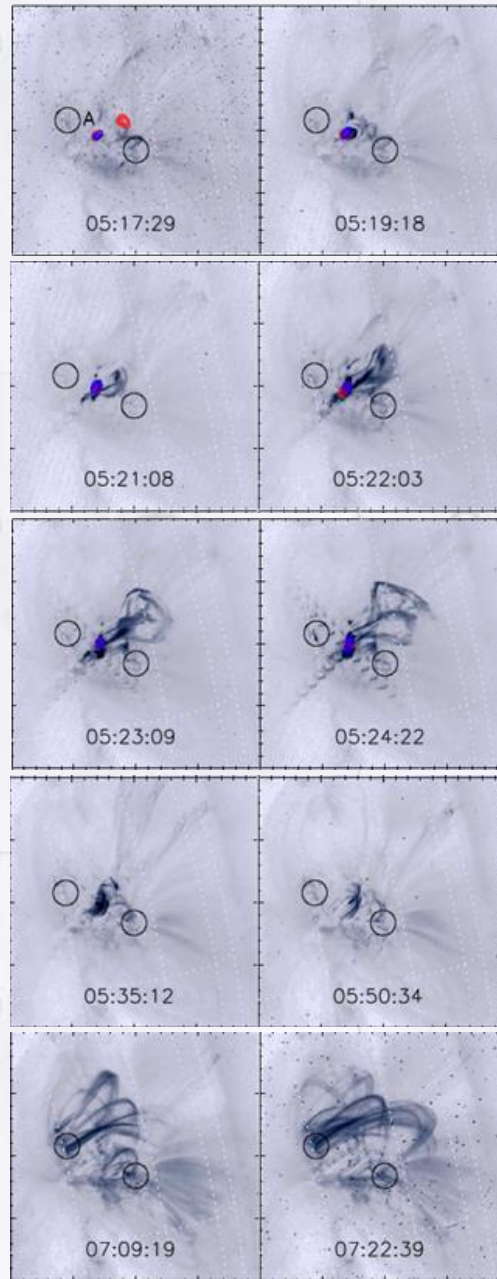
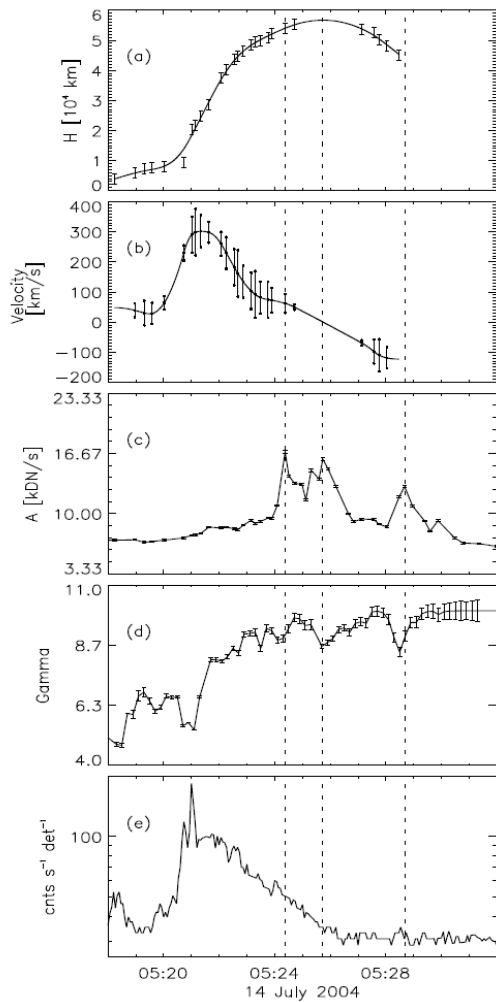
Źródła HXR (M1) widoczne w okolicy frontu erupcji i obszaru pojaśnień A

System wysokich pętli pojawiających się 30 minut po zatrzymaniu erupcji

Pojaśnienia EUV są skorelowane z zakotwiczeniami tych wysokich struktur

Wysokość dużego systemu pętli jest porównywalna z wysokością, na której erupcja uległa zatrzymaniu

Wyniki – 14 lipca 2004



14.07.2004

RHESSI 12-25 keV

RHESSI 25-50keV

Źródła HXR tylko w miejscu rozbłysku

Dwa obszary pojaśnień w zakresie EUV

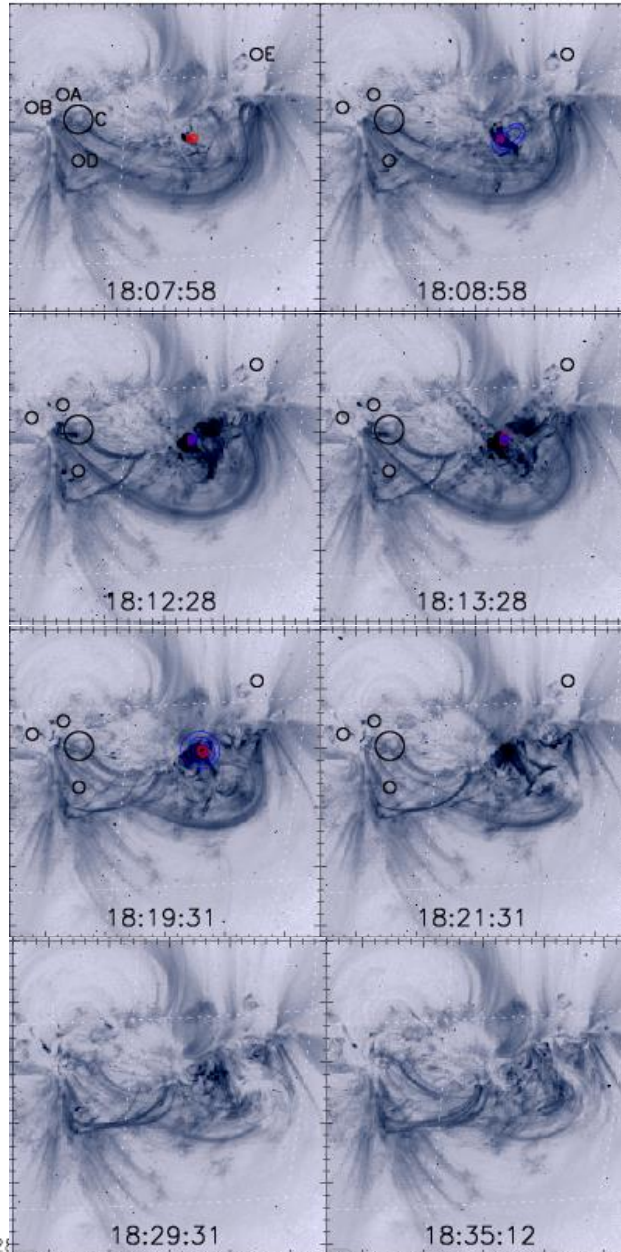
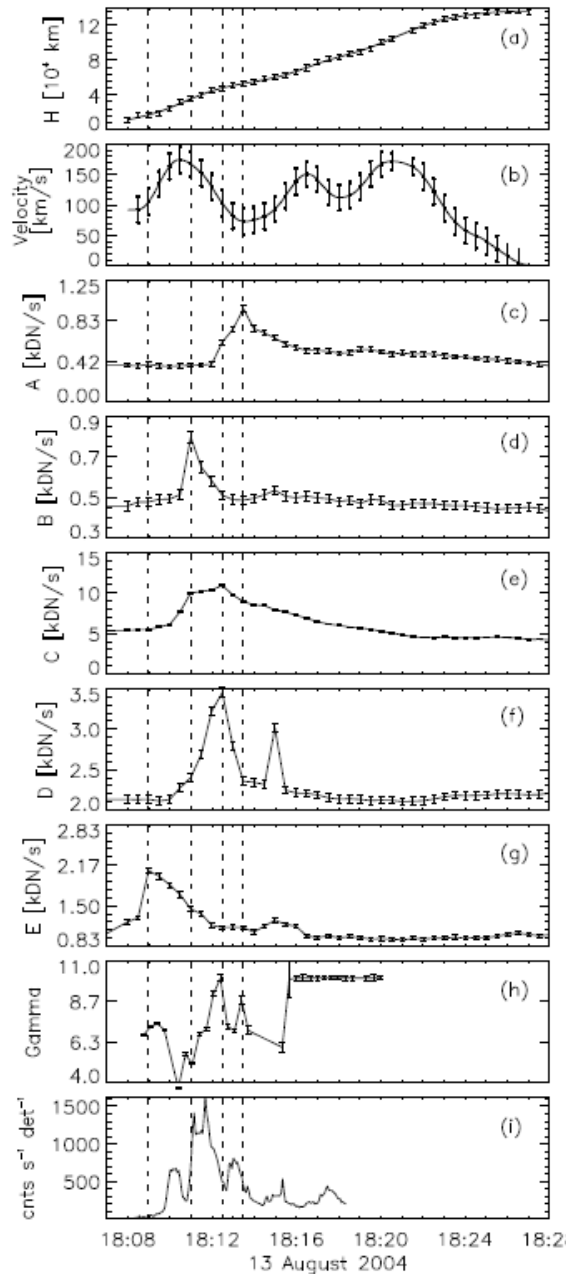
Kilka maksimum jasności w obszarze pojaśnień – wyraźna korelacja z twardzeniem widma HXR

System wysokich pętli widoczny 80 minut po maksimum rozbłysku

Pojaśnienia EUV skorelowane przestrzennie ze stopami dużych pętli

To nie są „pętle porozbłyiskowe”

Wyniki 13 sierpnia 2004



13.08.2004

RHESSI 12-25 keV
RHESSI 25-50keV

Źródła HXR tylko w miejscu
rozbłysku

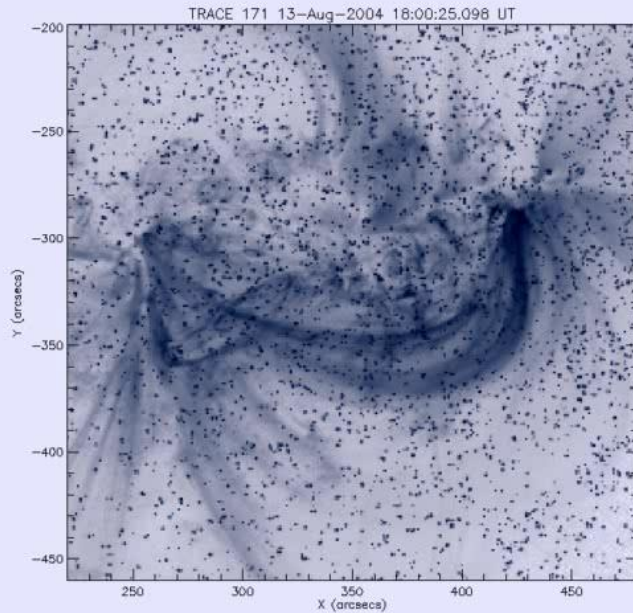
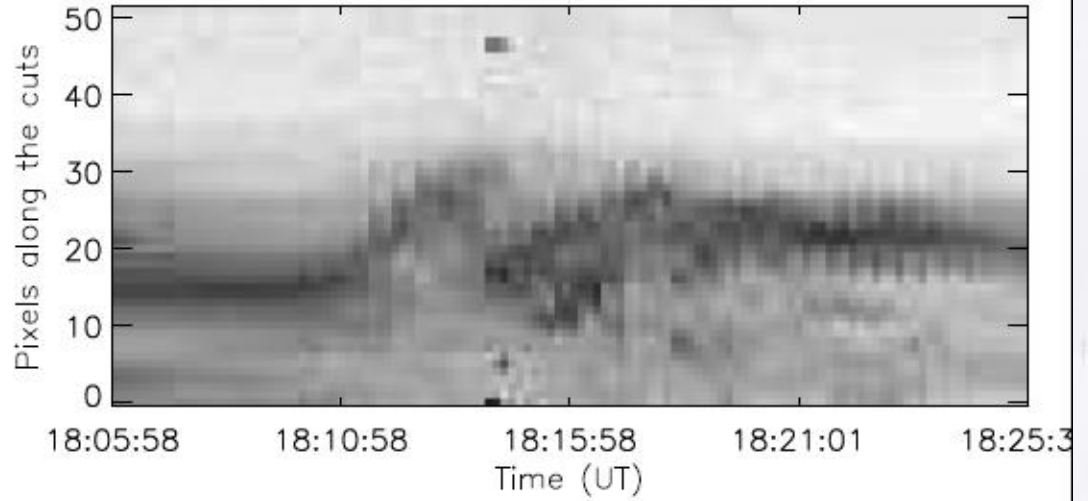
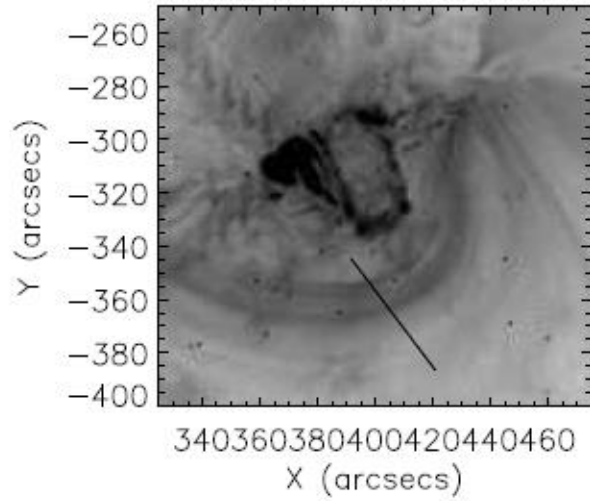
Pięć obszarów pojaśnień w
zakresie EUV

Kilka maksimów jasności w
obszarze pojaśnień

System wysokich pętli widoczny
przed i w trakcie erupcji

Brak ścisłej korelacji pomiędzy
położeniem pojaśnień a
zakotwiczeniami dużych pętli

Wyniki 13 sierpnia 2004

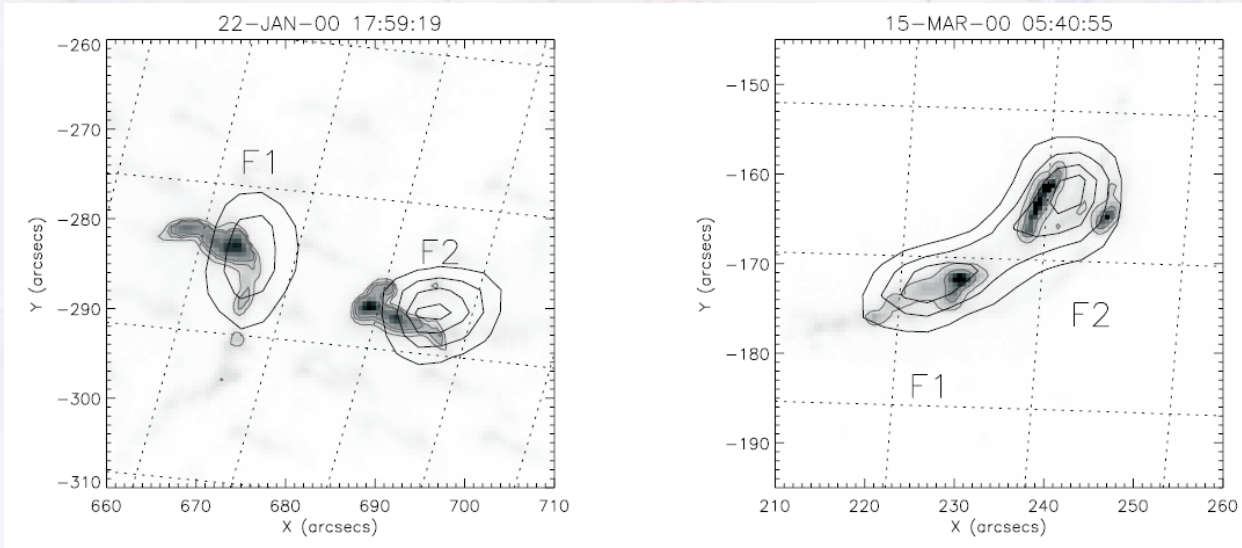


Wzbudzone oscylacje w otaczającym systemie pętli

Albo:

Kolejne fazy „przepychania się” erupcji przez otaczające pole

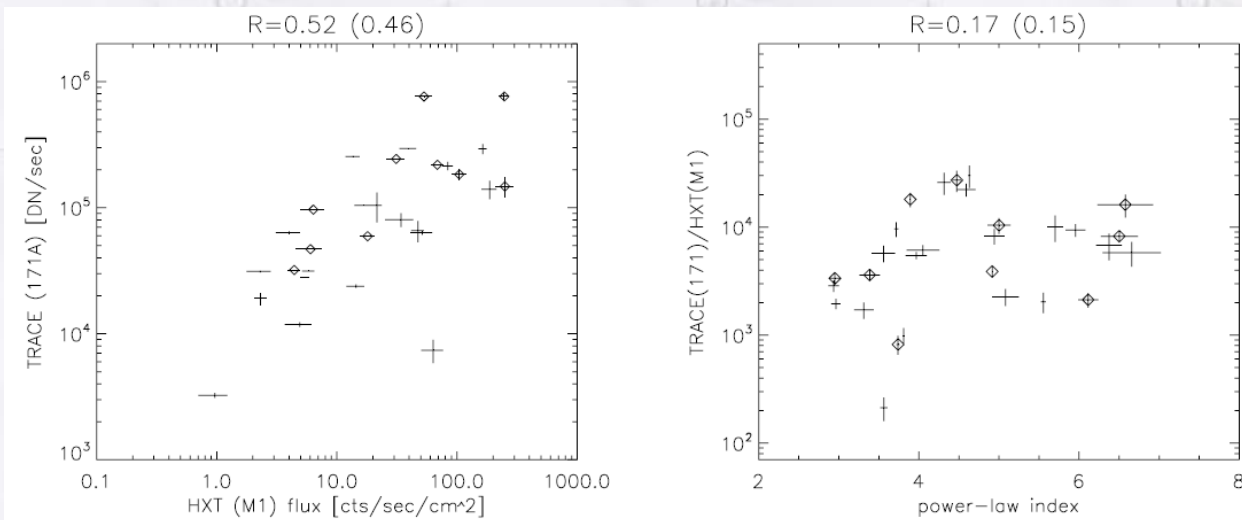
Wyniki – emisja HXR w stopach otaczających pętli



Mrozek *et al.* 2007,
A&A 472, 945

Analiza ilościowa źródeł SXR,
EUV, UV i HXR

Znaleziono korelacje pomiędzy
strumieniami oraz indeksem
gamma



Wyniki tej analizy mogą zostać
użyte do oszacowania jasności
źródeł, które powinny być
stowarzyszone z dużym
systemem pętli otaczających
zatrzymaną erupcję

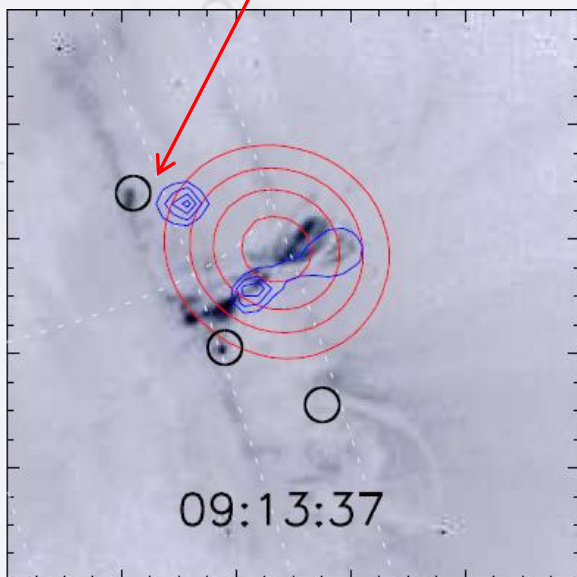
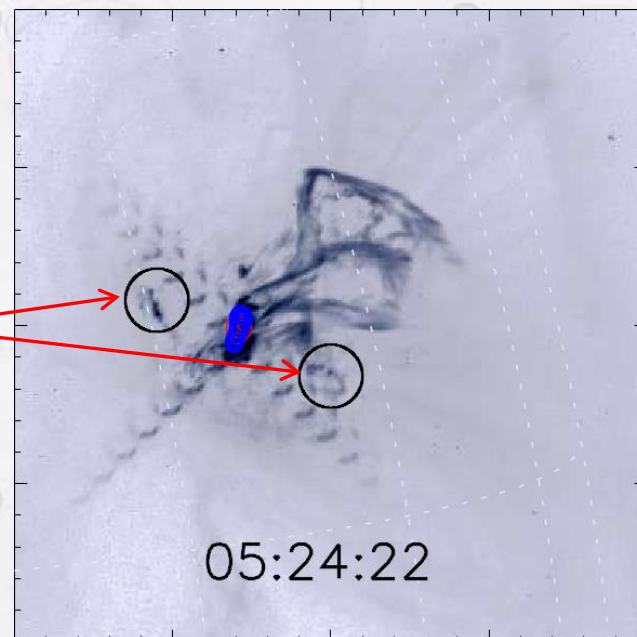
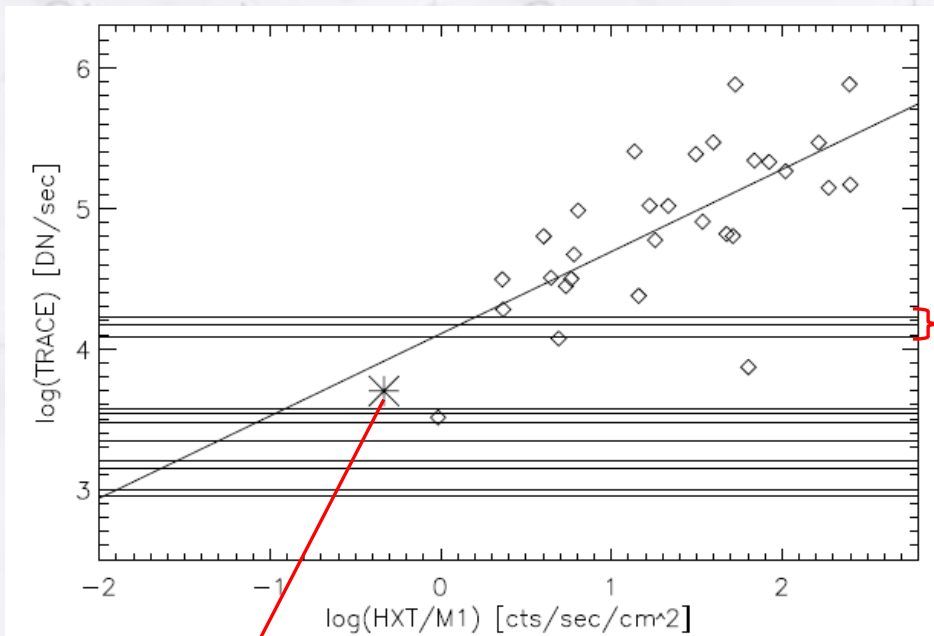
09:15:27

09:23:18

09:26:02

09:38:57

Wyniki – emisja HXR w stopach otaczających pętli



diamenty – TRACE 171 Å i HXT/M1 (Mrozek i in. 2007, A&A, 472, 945)

gwiazdka – pojaśnienie EUV (A) i stowarzyszone źródło HXT/M1 (22.10.999)

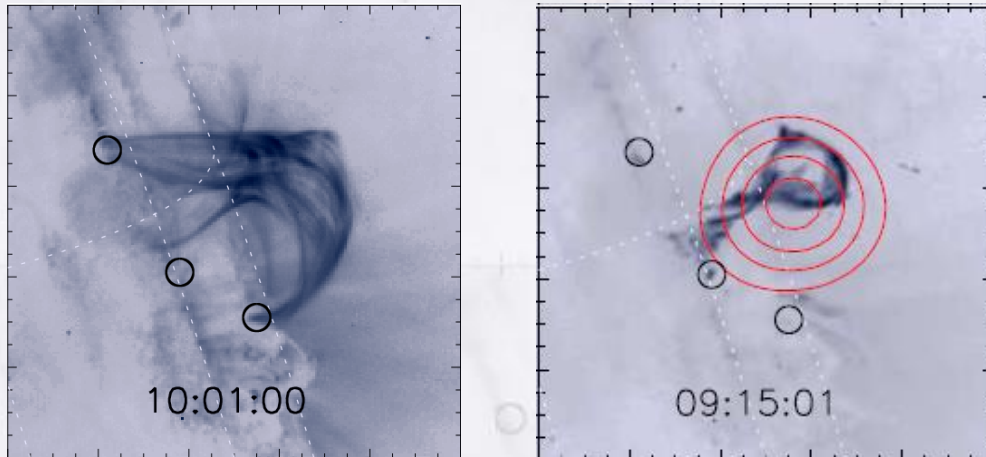
linie poziome – maksymalne jasności obszarów pojaśnień EUV w analizowanych zjawiskach

W większości przypadków spodziewane jasności źródeł HXR są około 10 razy mniejsze od najbliższych źródeł obserwowanych przez HXT

W przypadku zjawiska z 14.07.2004 brak źródeł może być wynikiem słabego zakresu dynamicznego RHESSI

Oszacowana energia nietermiczna zdeponowana w obszarze A: 10^{28} erg

Wyniki – jaśniejsze wysokie pętle



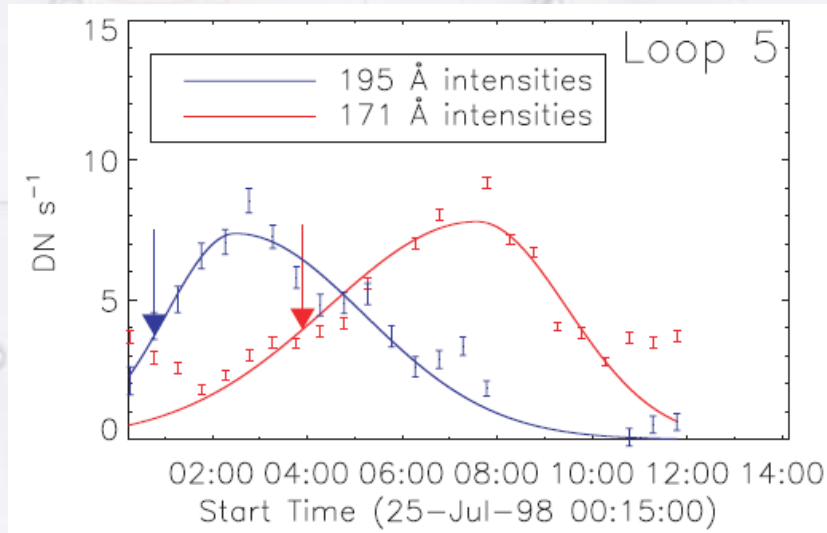
$n=10^9 \text{ cm}^{-3}$
 $L=8.8 \cdot 10^9 \text{ cm}$
 $A=10^{17} \text{ cm}^2$ ($\Phi=5''$)
 $\Delta T: 0.3 \text{ MK} \rightarrow 1.6 \text{ MK}$
 $\Delta h: R_{\odot} \rightarrow R_{\odot} + h_{\text{max}}/2$
 $h_{\text{max}}=2.8 \cdot 10^4 \text{ km}$

$$E_T = \frac{3}{2} NkT \rightarrow 2.4 \times 10^{26} \text{ erg}$$

$$E_G = -G \frac{Mm}{r} \rightarrow 1.6 \times 10^{25} \text{ erg}$$

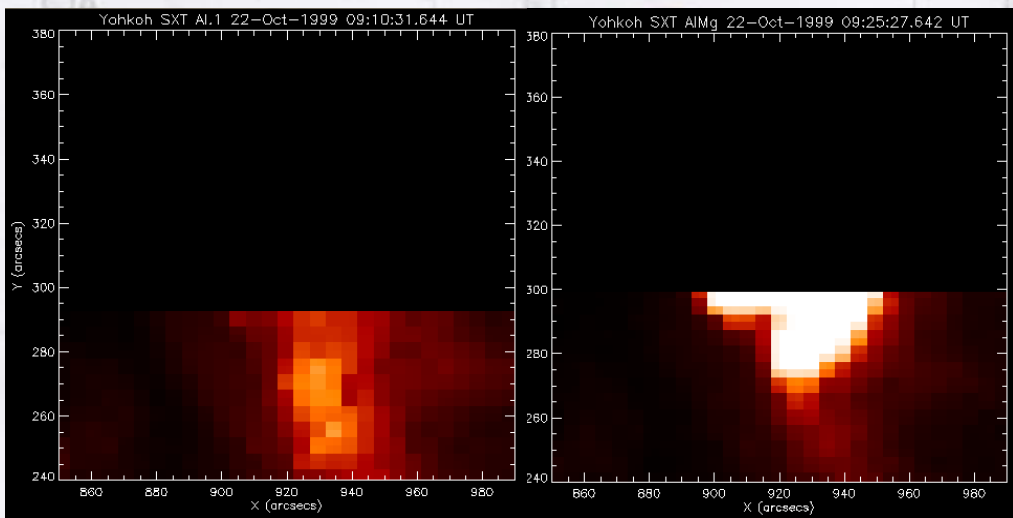
$E_{\text{nth}}=10^{28}$ erg starczy na:

$\Delta T: 0.3 \text{ MK} \rightarrow 1.6 \text{ MK}$
 dla $n=5 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$
 na $h=h_{\text{max}}/2$



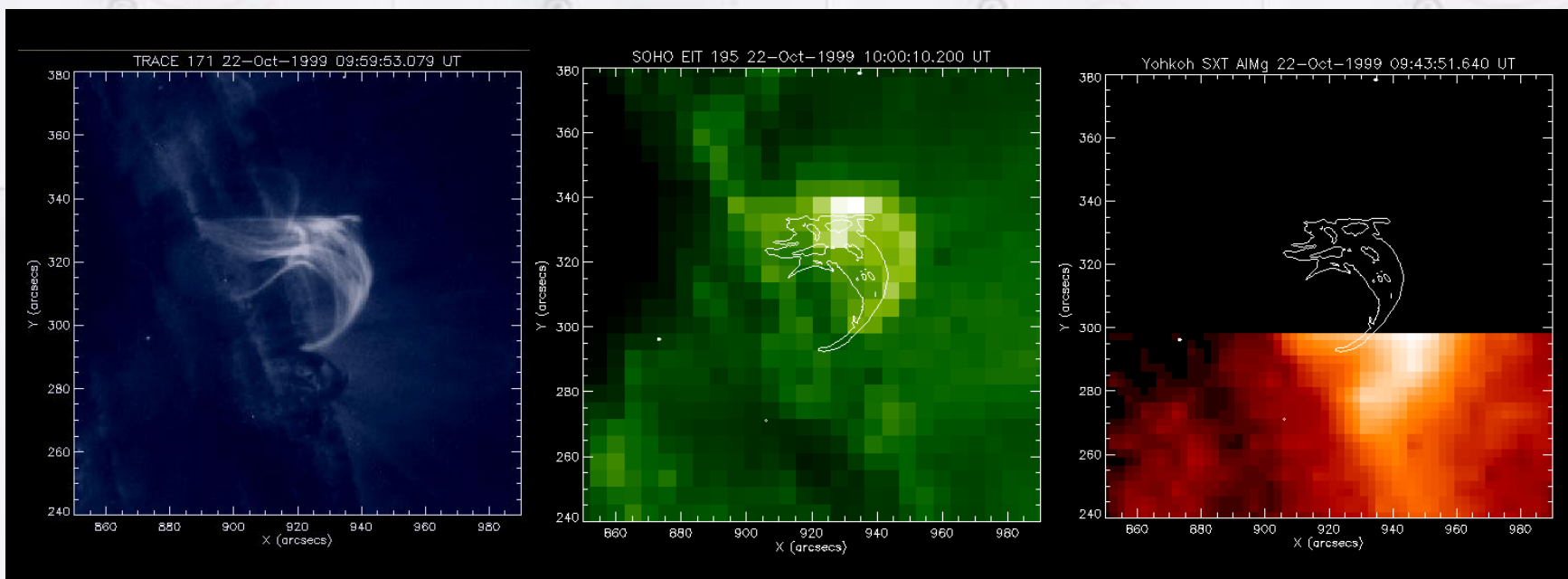
Winebarger i in., 2003, ApJ 593, 1164

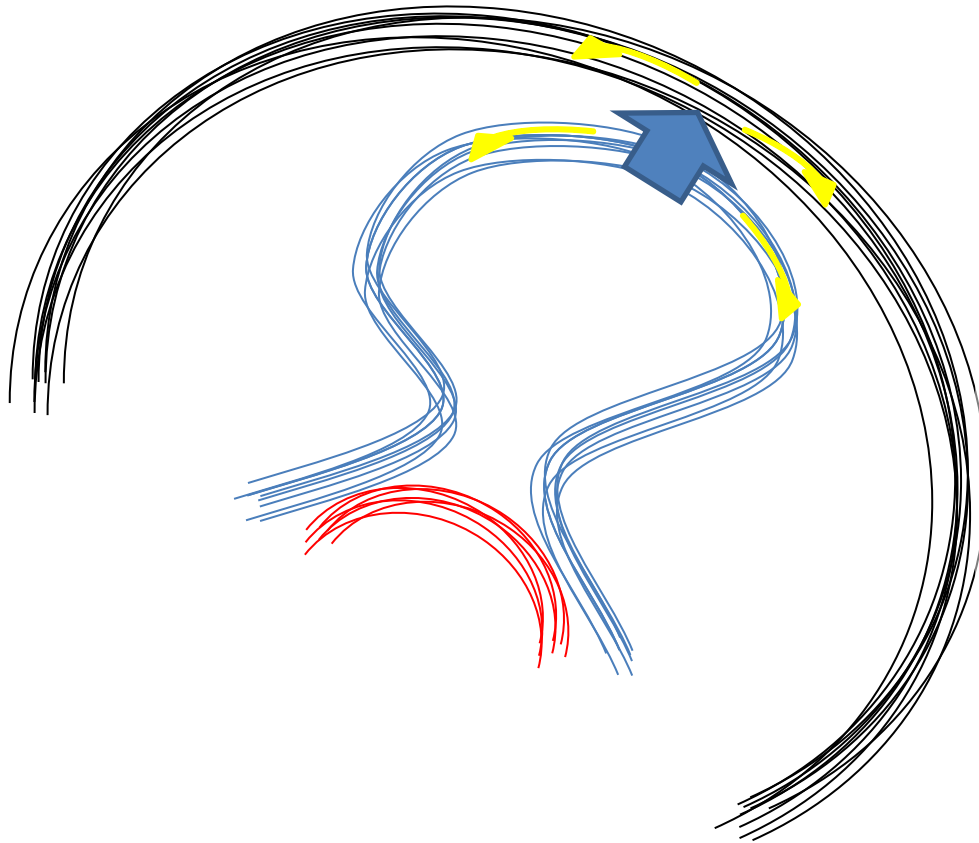
Wyniki – jaśniejsze wysokie pętle



Pętle SXR są widoczne dopiero po erupcji i mają wysokości porównywalne z wysokością, na której erupcja została zatrzymana

Brak pełnych obrazów SXT – problem ze zgraniem przestrzennym struktur





- Analizowane cechy (wysokość, prędkość, zmiany jasności obszarów pojaśnień itd.) są skorelowane w czasie.
- Wysokość otaczającego systemu pętli jest zbliżona do wysokości, na której nastąpiło zatrzymanie erupcji.
- Pojaśnienia EUV są widoczne w zakotwiczeniach dużego systemu pętli. W jednym wypadku widoczne źródło HXR.
- Elektrony poruszają się w obszarze o niskiej gęstości (duże pętle są niewidoczne podczas ewolucji erupcji).
- Oczekiwane jasności takich źródeł są małe, na granicy możliwości współczesnych instrumentów.
- Następny krok: pełny bilans energetyczny erupcji, obserwacje z AIA, obserwacje radiowe.

Netzel, A., Mrozek, T., Kołomański, S., i Gburek, S.,
A&A w druku, arXiv:1209.0123v1