

"Niskotemperaturowe pomiary  
termo-i radioluminescencji  
monokryształów fluorków  
domieszkowanych Yb, Ce i Nd"

mgr inż. Zbigniew Kowalski,  
prof. dr hab. inż. Sławomir Maksymilian Kaczmarek,  
prof. dr hab. Winicjusz Drozdowski,  
prof. dr hab. Georges Boulon

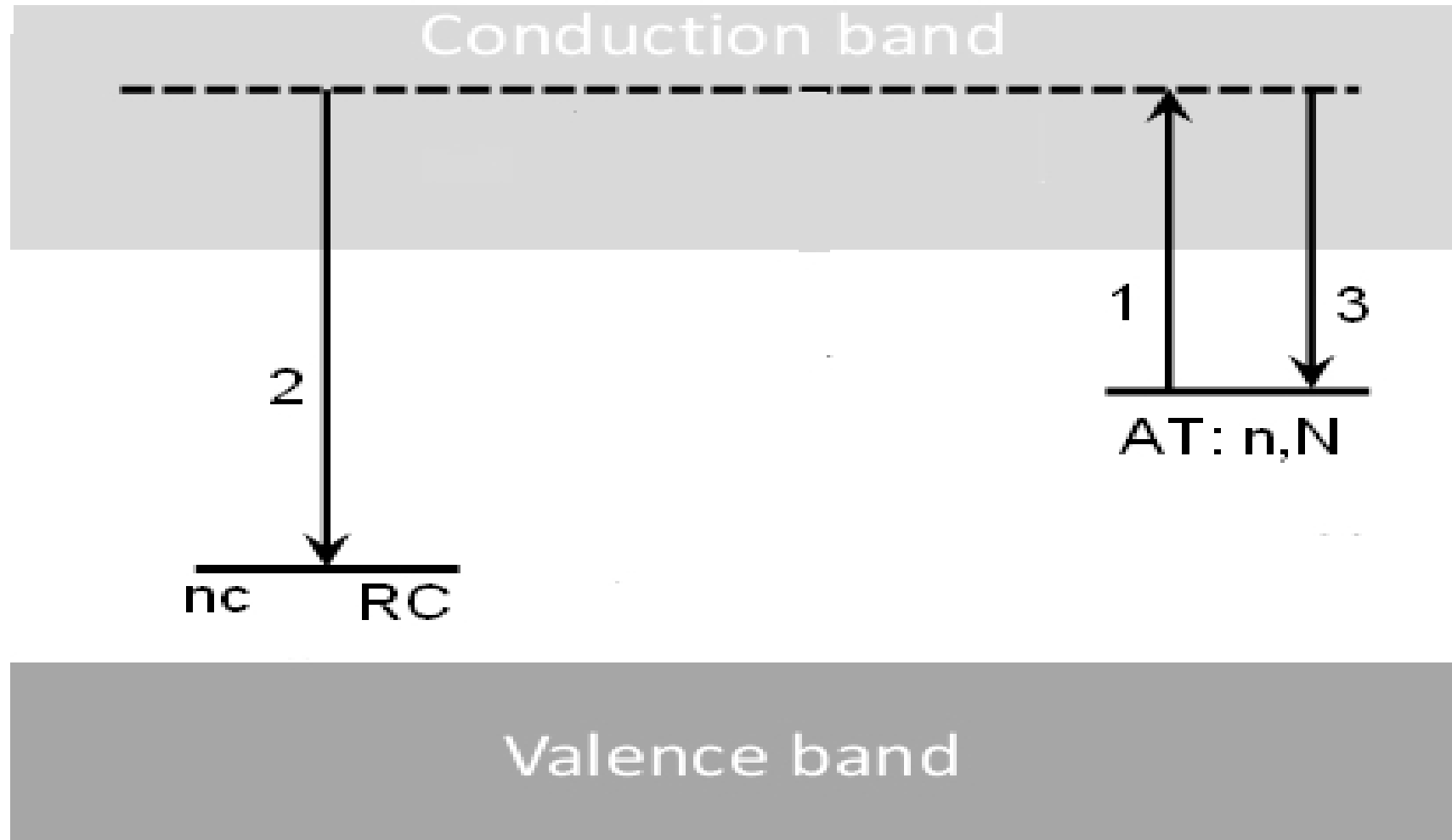
# Plan prezentacji

1. Podstawowe modele termoluminescencji.
2. Badane materiały.
3. Wpływ domieszek na właściwości optyczne.
4. Sprzęt i metody pomiarowe.
5. Wyniki i ich opracowanie.
6. Wnioski.
7. Podziękowania

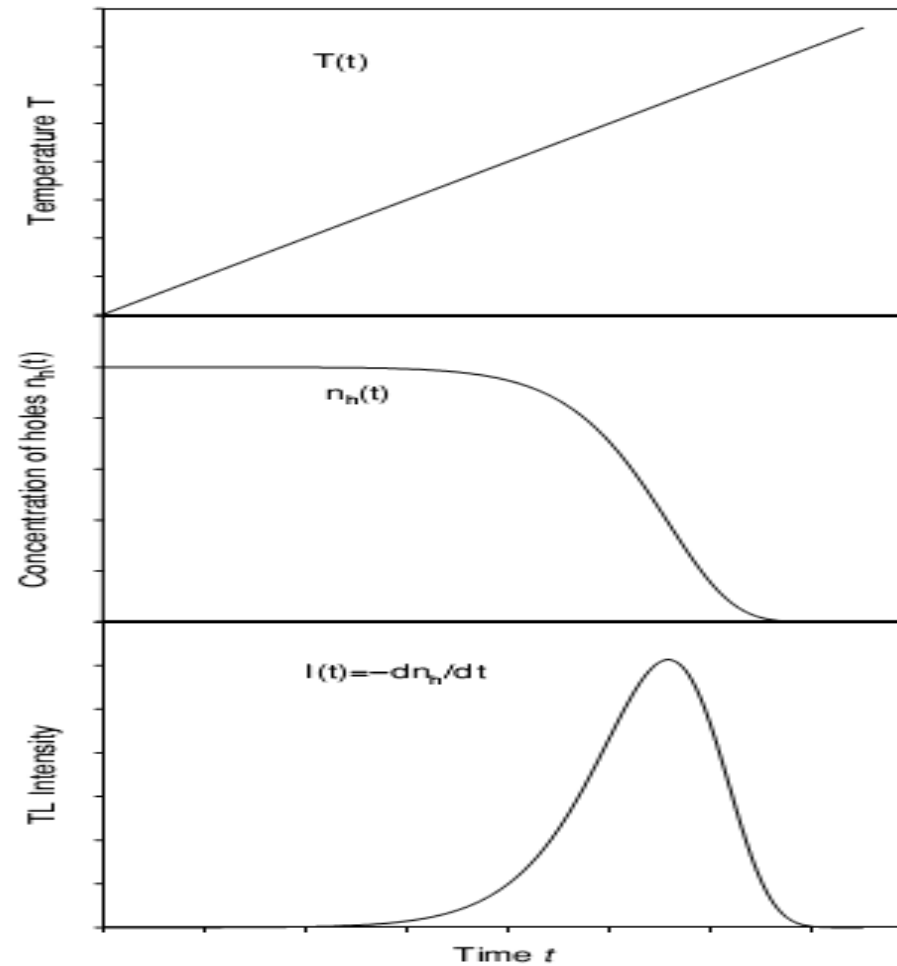
# Podstawowe modele termoluminescencji – krótki wstęp



# Prosty model OTOR (one-trap-one-recombination center)



# Zależności temperatury, koncentracji nośników oraz rekombinacji od czasu



Intensywność emisji jest równa tempu rekombinacji dziur i elektronów na RC:

$$I(t) = -\frac{dn_h}{dt}$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = nse^{-E/kT}$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = \frac{n^2}{N}se^{-E/kT}$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = n^b s' e^{-E/kT}$$

$s$  – stała charakteryzująca pułapki elektronowe, przedeksponencjalny czynnik częstotliwościowy. Parametr ten jest proporcjonalny do częstotliwości kolizji elektronów z fononami sieci krystalicznej. Typowo maksymalne wartości odpowiadają częstotliwości drgań sieci –  $10^{12} - 10^{14} \text{ s}^{-1}$ .

$N$  – całkowita koncentracja pułapek

$n$  – koncentracja spułapkowanych elektronów w chwili  $t$ .

$b$  – rząd kinetyki (zazwyczaj między 1-2)

$s'$  – efektywny czynnik częstotliwościowy dla ogólnego rzędu kinetyki.

Rozwiązaniem równania różniczkowego dla kinetyki pierwszego rzędu jest:

$$n(t) = n_0 \cdot \exp \left[ -s \int_{t_0}^t \exp \{ -E_t / kT \} dt \right]$$

Po podstawieniu liniowej funkcji grzania za  $t$  uzyskujemy:

$$n(T) = n_0 \cdot \exp \left[ -\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp \{ -E_t / k\theta \} d\theta \right]$$

Podstawiamy uzyskany wynik pod  $I(t) = nse^{-E/kT}$ :

$$I(T) = nse^{-E/kT} = n_0 s \exp[-E/kT] \cdot \exp \left[ -\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp \{ -E_t / k\theta \} d\theta \right]$$

$E$  – energia aktywacji lub głębokość pułapki (eV)

$k$  – stała Boltzmannna ( $8.617 \cdot 10^{-5}$  eV/K)

$t$  – czas (s)

$T$  – temperatura (K)

Podobnie postępując w przypadku pozostałych równań można uzyskać:

$$I(T) = n_0 s \cdot \exp\left[-\frac{E}{kT}\right] \cdot \exp\left[-\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left\{-\frac{E}{k\theta}\right\} d\theta\right]$$

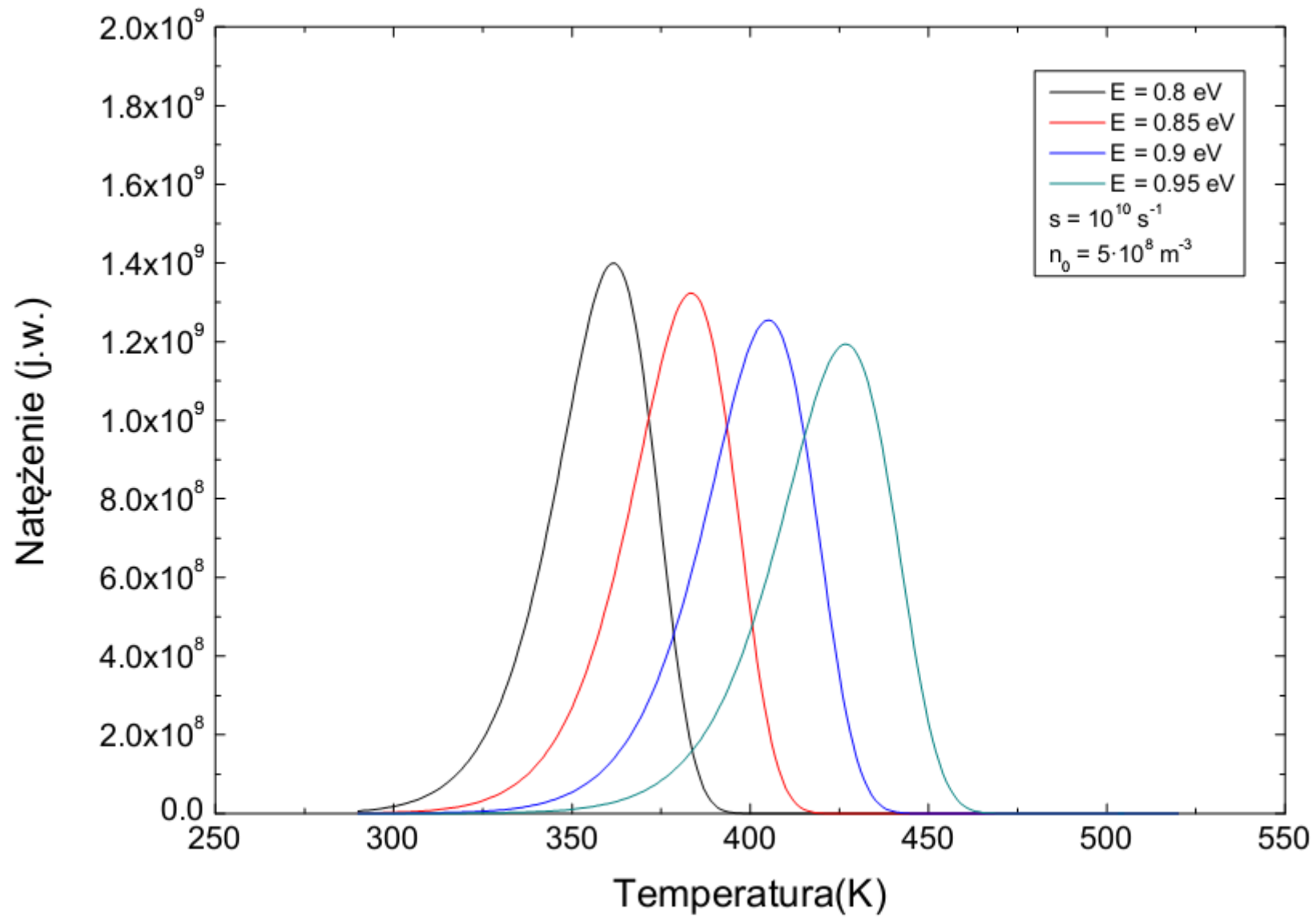
$$I(T) = n_0^2 \cdot \frac{s}{N} \exp\left[-\frac{E}{kT}\right] \cdot \exp\left[1 + \frac{n_0 s}{\beta N} \int_{T_0}^T \exp\left\{-\frac{E}{k\theta}\right\} d\theta\right]^{-2}$$

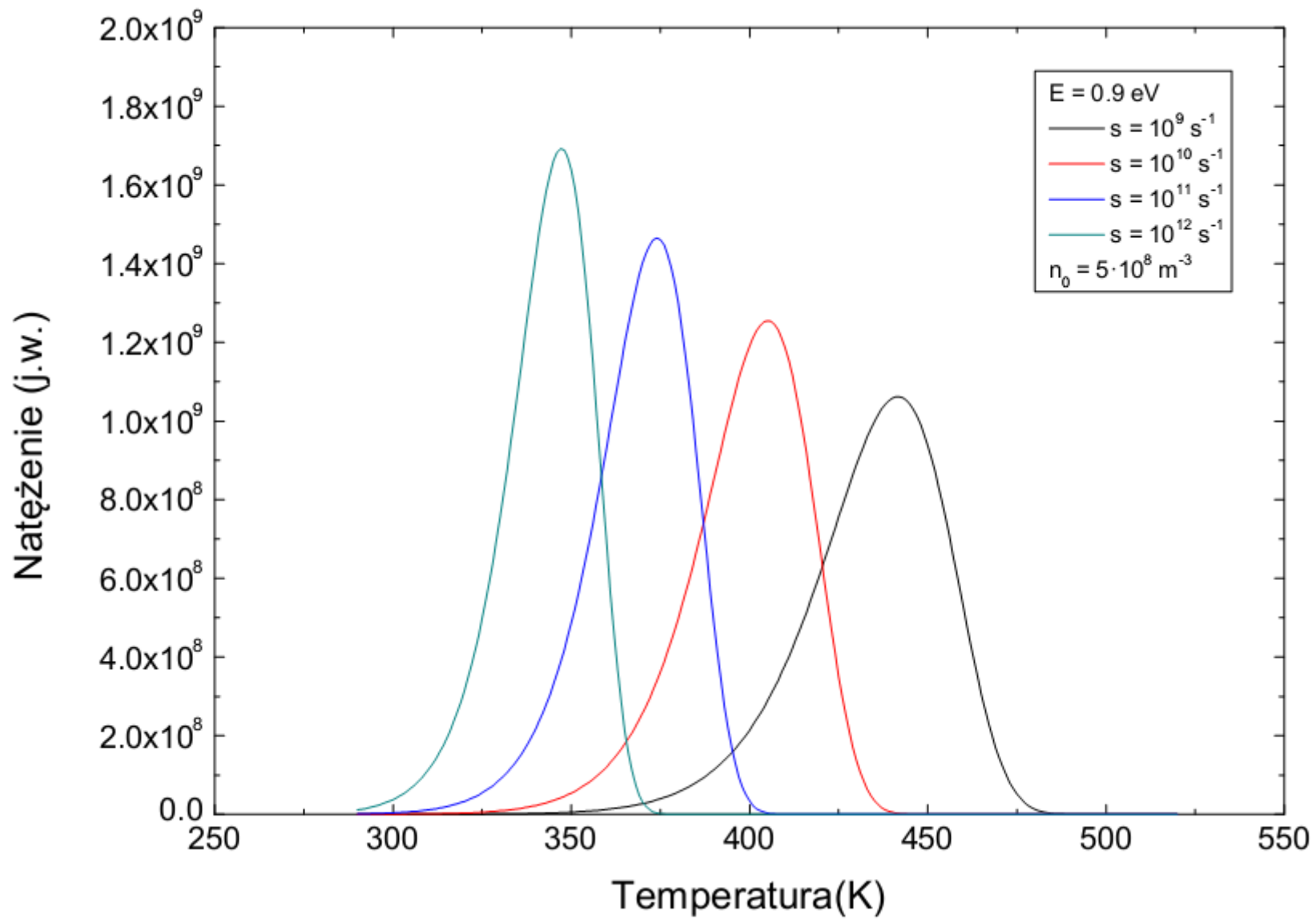
$$I(T) = s'' \cdot n_0 \cdot \exp\left[-\frac{E}{kT}\right] \cdot \exp\left[-\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left\{-\frac{E}{k\theta}\right\} d\theta\right]^{-\frac{b}{b-1}}$$

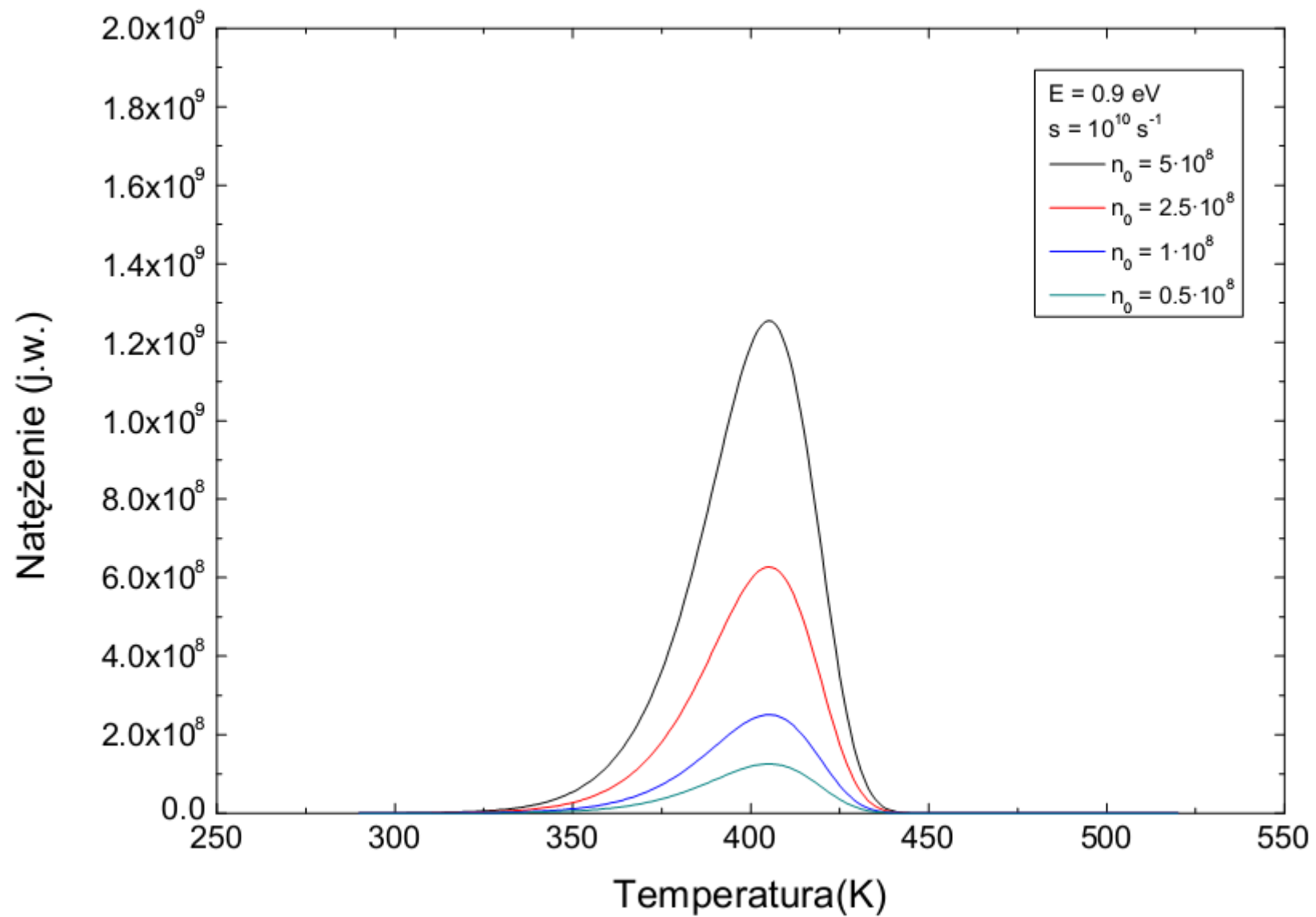
$N_0$  - liczba sputakowanych elektronów w chwili  $t = 0$

$s'' = s' n_0^{(b-1)}$  – empiryczny parametr oznaczający efektywny czynnik częstotliwościowy w ogólnym rzędzie kinetyki.

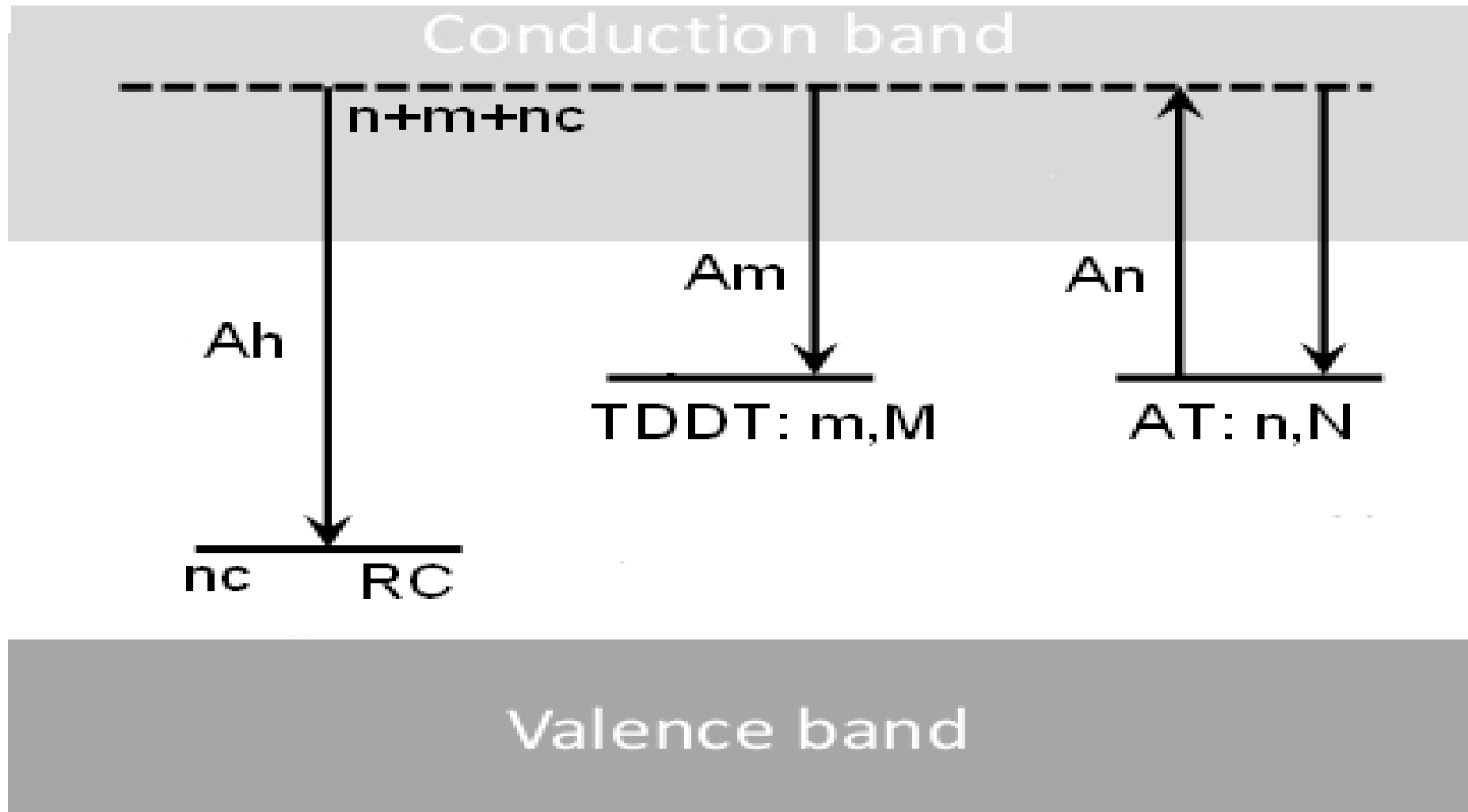








# Bardziej złożony model IMTS (interactive-multiple-trap-system)



## Zależności nośników w modelu IMTS

$$\frac{dn_c}{dt} + \frac{dn}{dt} + \frac{dm}{dt} = -(n + m + n_c) n_c A_h$$

$$I = \frac{-d(n + m + n_c)}{dt} = (n + m + n_c) n_c A_h$$

$$\frac{dn}{dt} = -ns \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) + A_h (N - n) n_c$$

$$\frac{dm}{dt} = A_m (M - m) n_c$$

# Badane materiały.

## Matryce

BaYF -  $\text{BaY}_2\text{F}_8$

KYF -  $\text{K}_2\text{YF}_5$

LLF -  $\text{LiLuF}_4$

LTB -  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$



# Próbki

BaYF\_Ce,

BaYF\_Nd

KYF1,

LTB\_Ti,

LLF0,

LLF2\_Yb,

LLF3\_Yb



# Sprzęt i metody pomiarowe.





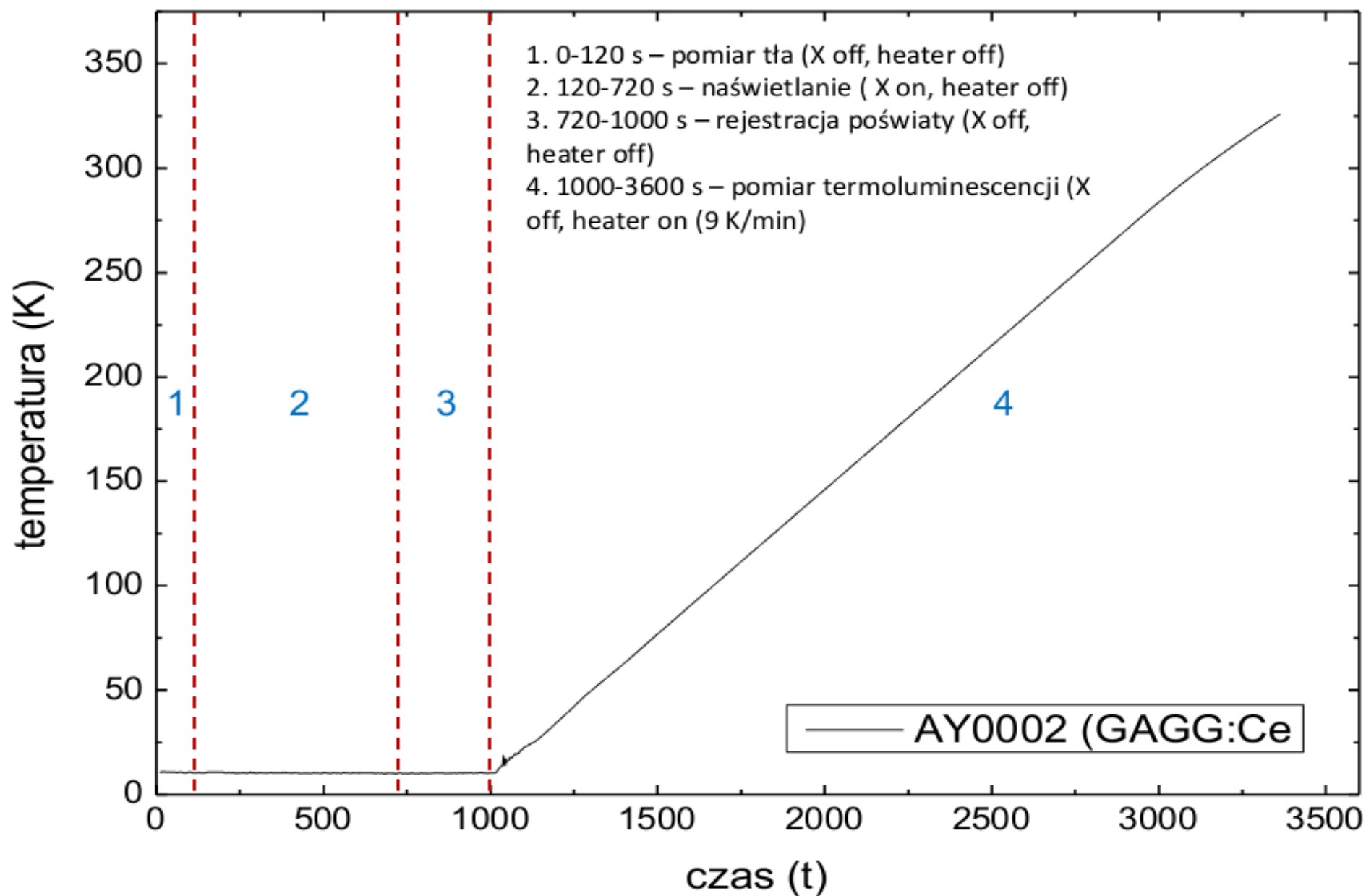
Aparatura pomiarowa składała się z **generatora promieniowania rentgenowskiego Inel X-ray (Cu-anode X-ray tube, 45 kV/10 mA), monochromatora ARC SP-150 , fotopowielacz Hamamatsu R928(800V) , chłodzony za pomocą APD Cryogenics z zamkniętym obiegiem helu z kontrolerem temperatury Lake Shore 330.**

Rejestrowane były widma RL oraz ItTL.

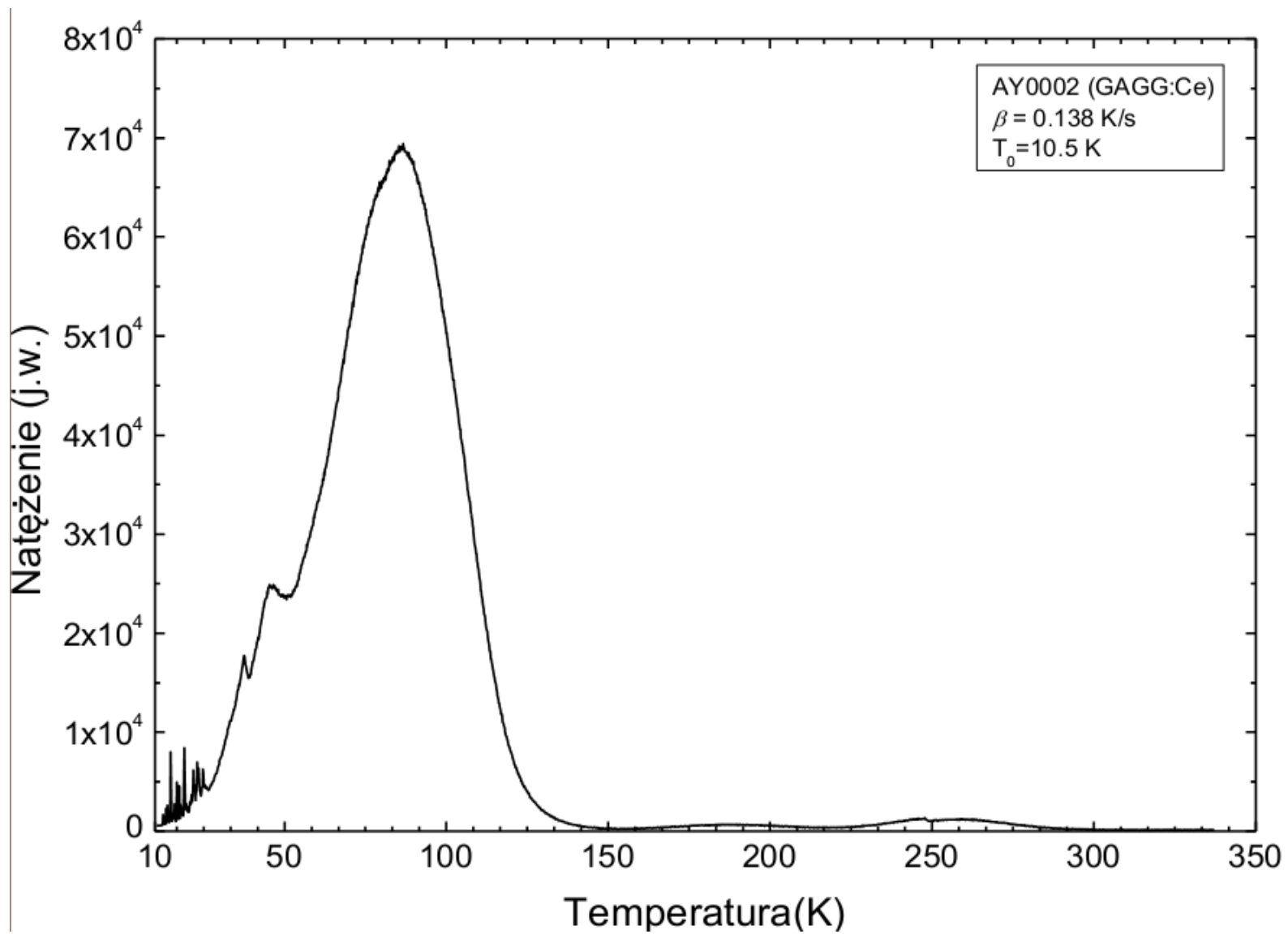
Pomiary RL były przeprowadzane od temperatury **325 K do 10 K** ( z krokiem co 10 K) w celu uniknięcia wkładu termicznie uwalnianych nośników. Pomiar ItTL poprzedziło naświetlenie próbek promieniami X przez 10 min w temperaturze 10 K.

Krzywe jarzenia zostały zarejestrowane pomiędzy 10 i 300 K ze stałą grzania **0.141 K/s** ogrzewana liniowo z szybkością  $\beta = dT/dt$ .

W naszym eksperymencie  **$T_0 = 10$  K,  $T_{end} = 325$  K,  $\beta = 0.141$  K/s,** a funkcja opisująca zmianę temperatury ma postać  **$T(t) = T_0 + \beta t$ .**

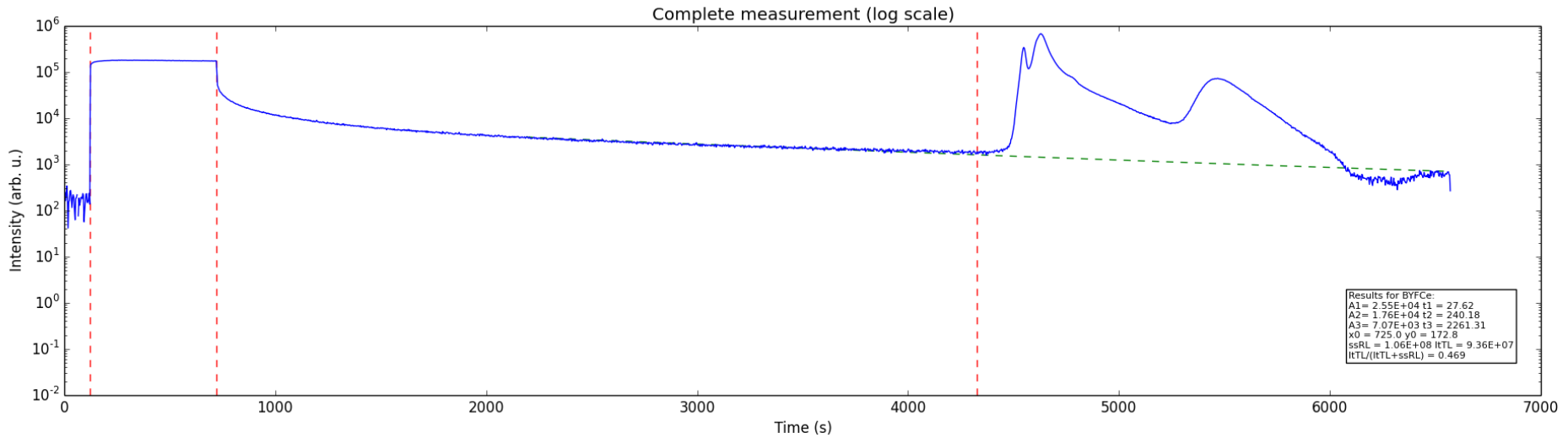
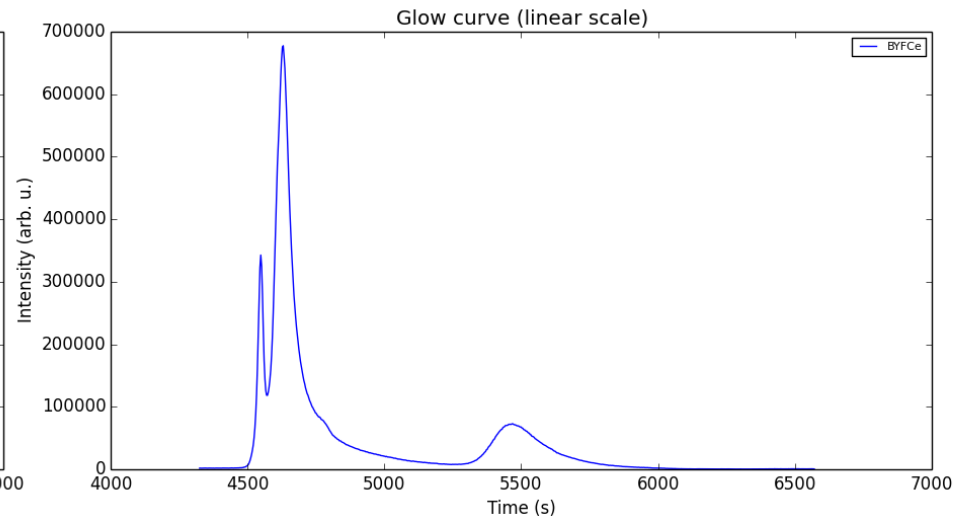
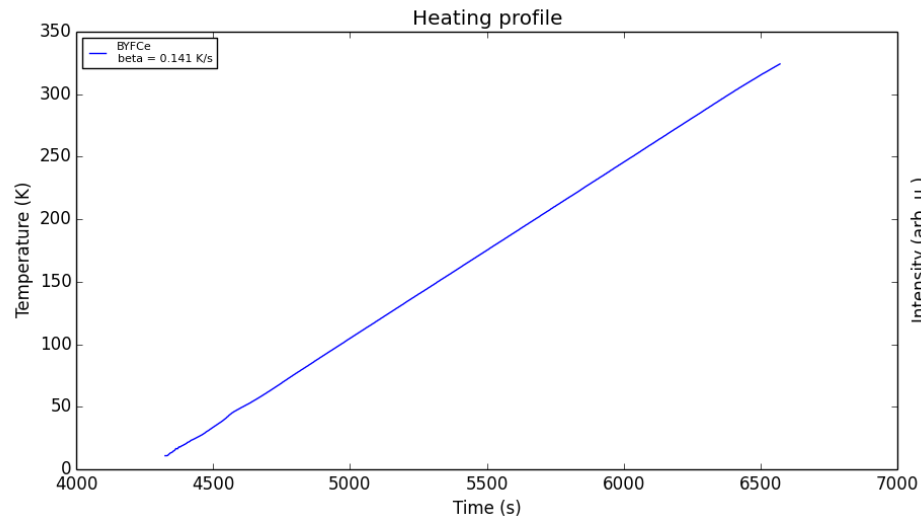


# Przykładowy pomiar TL



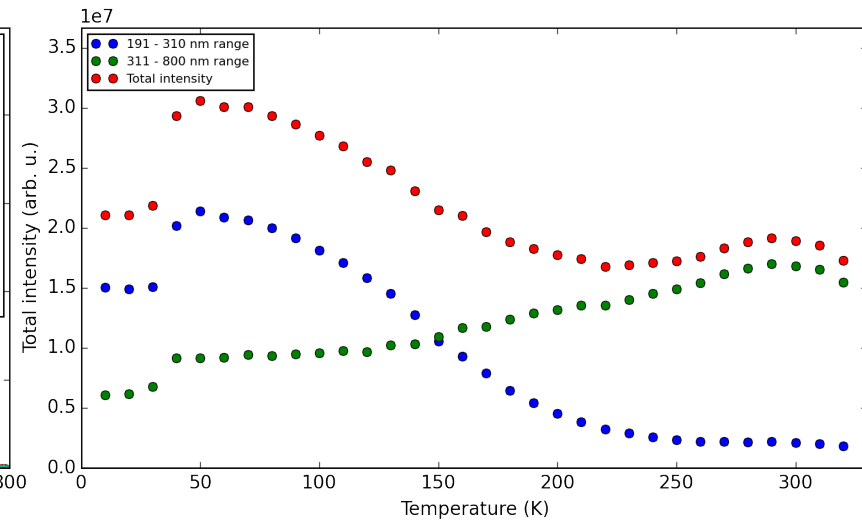
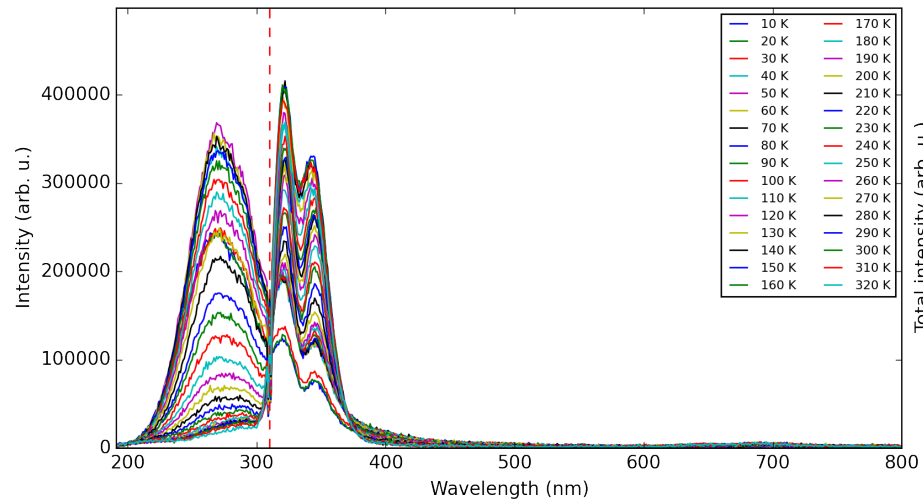
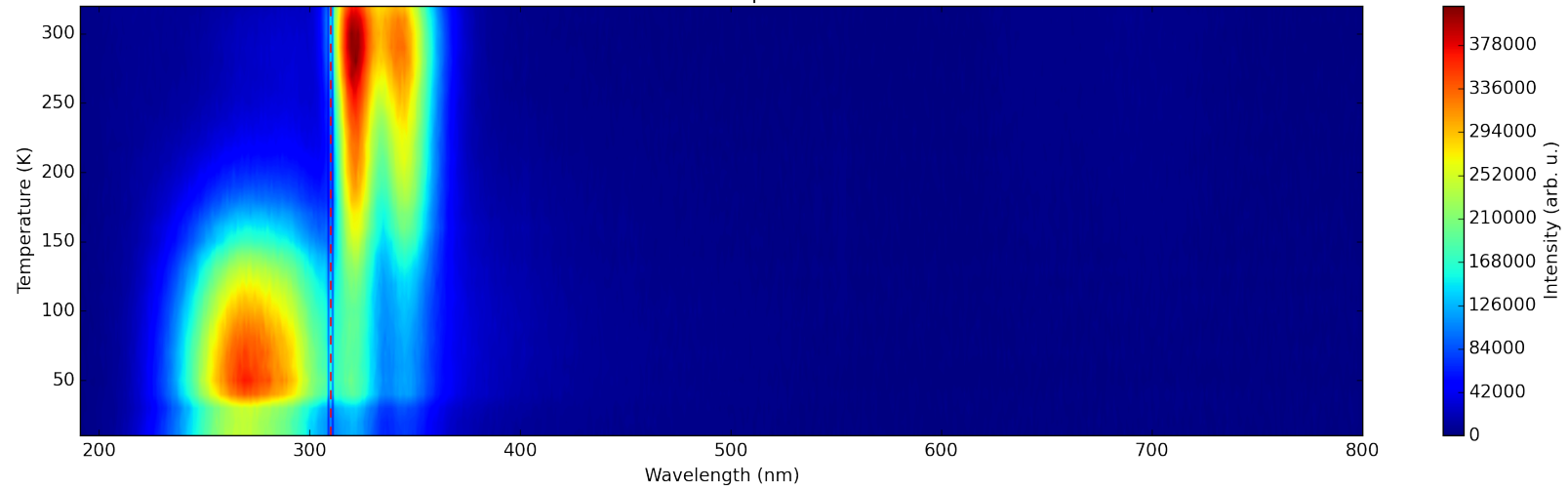
Wyniki i ich opracowanie.

# BaYF\_Ce - termoluminescencija

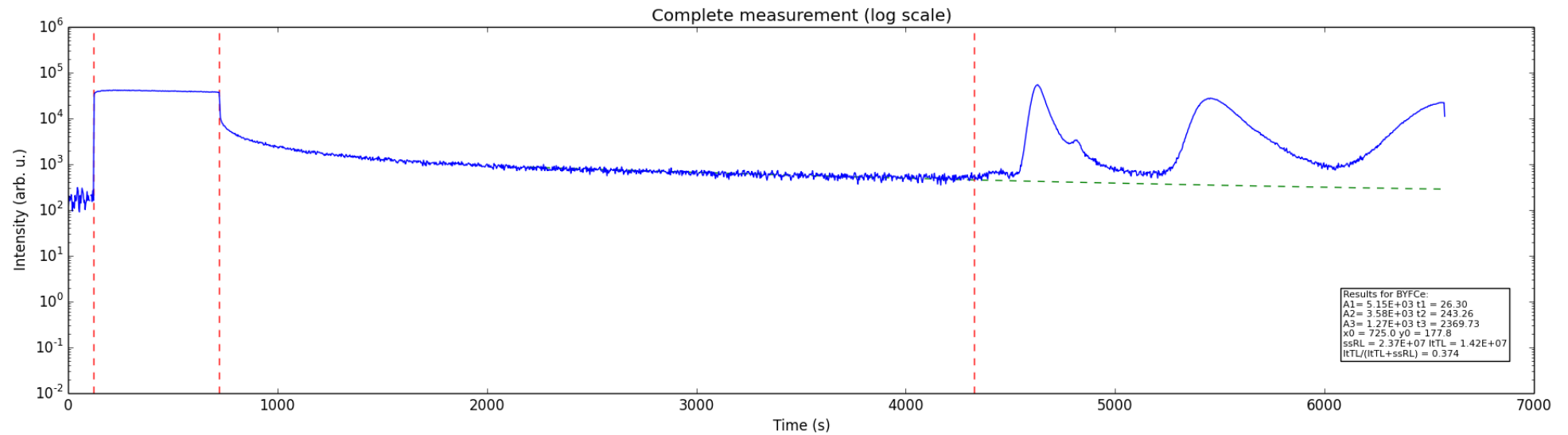
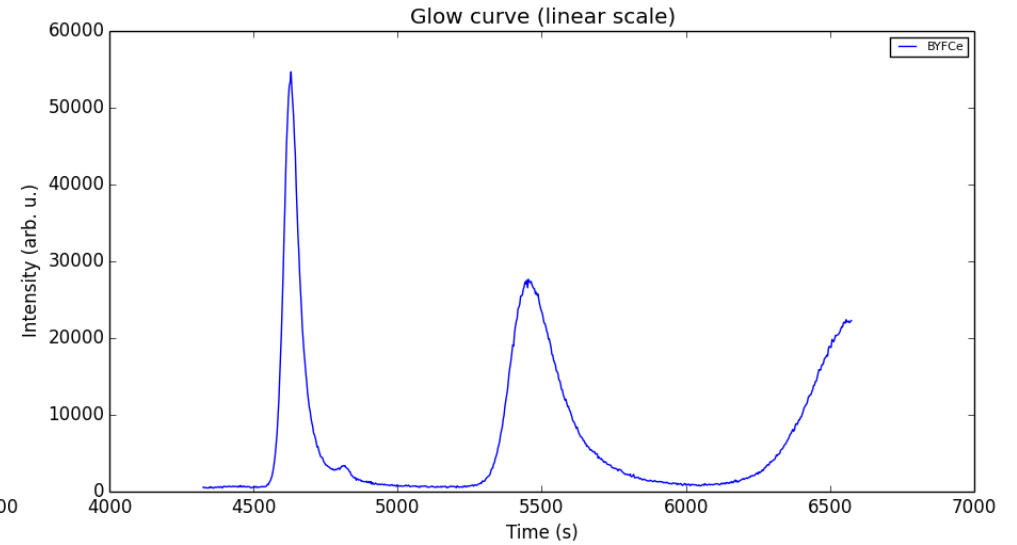
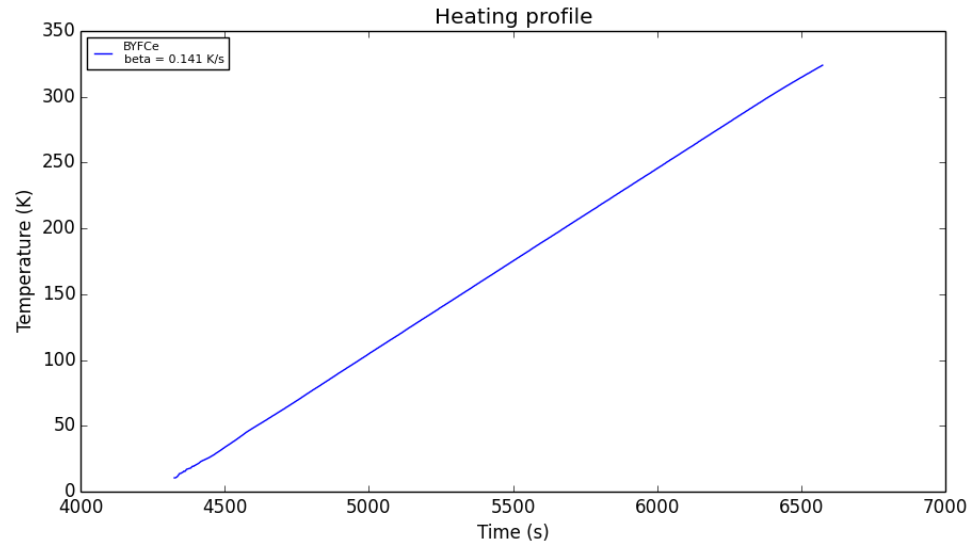


# BaYF\_Ce - radioluminescencija

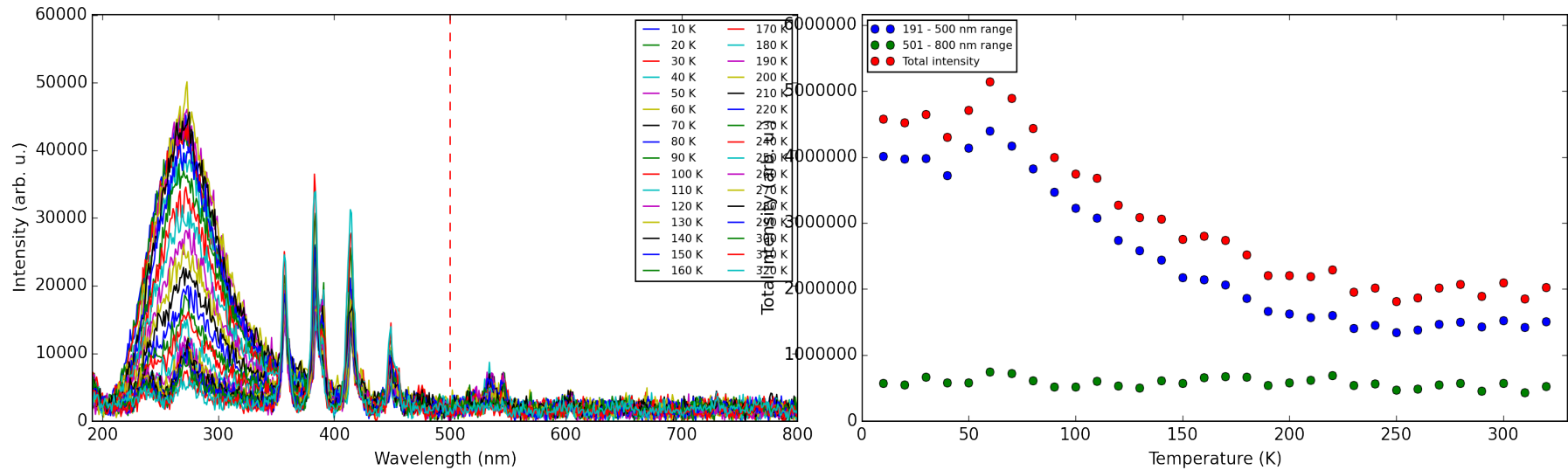
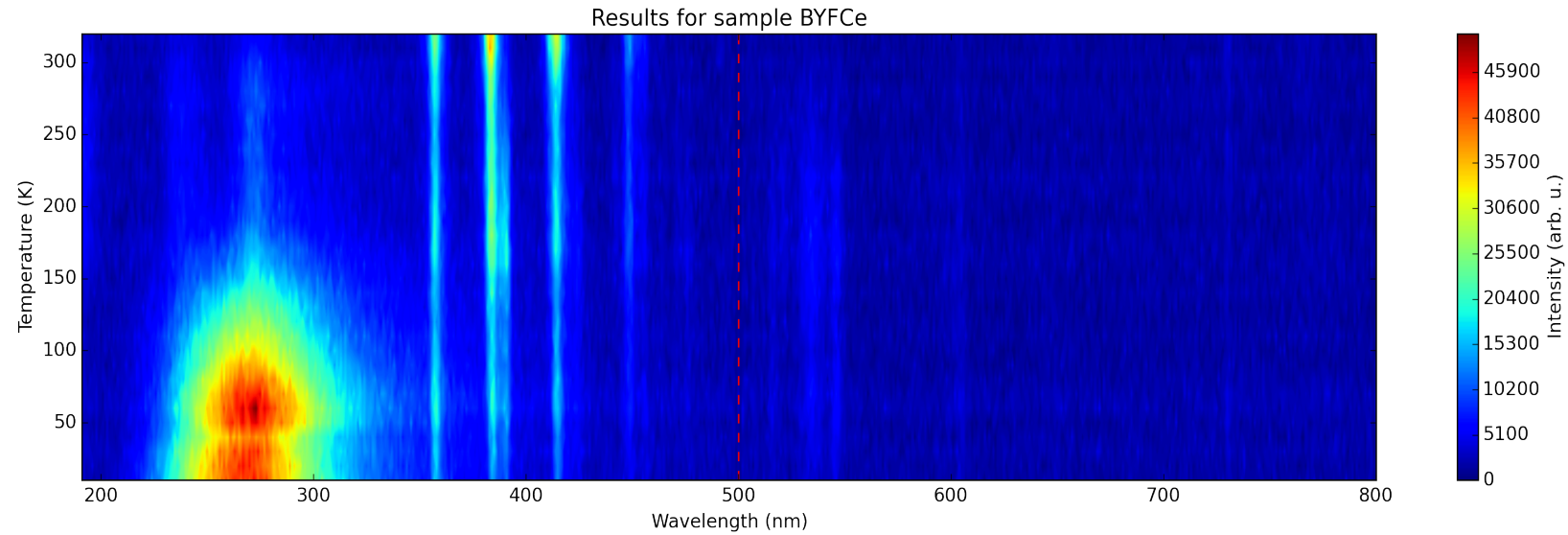
Results for sample BYFCe



# BaYF\_Nd-termoluminescencija

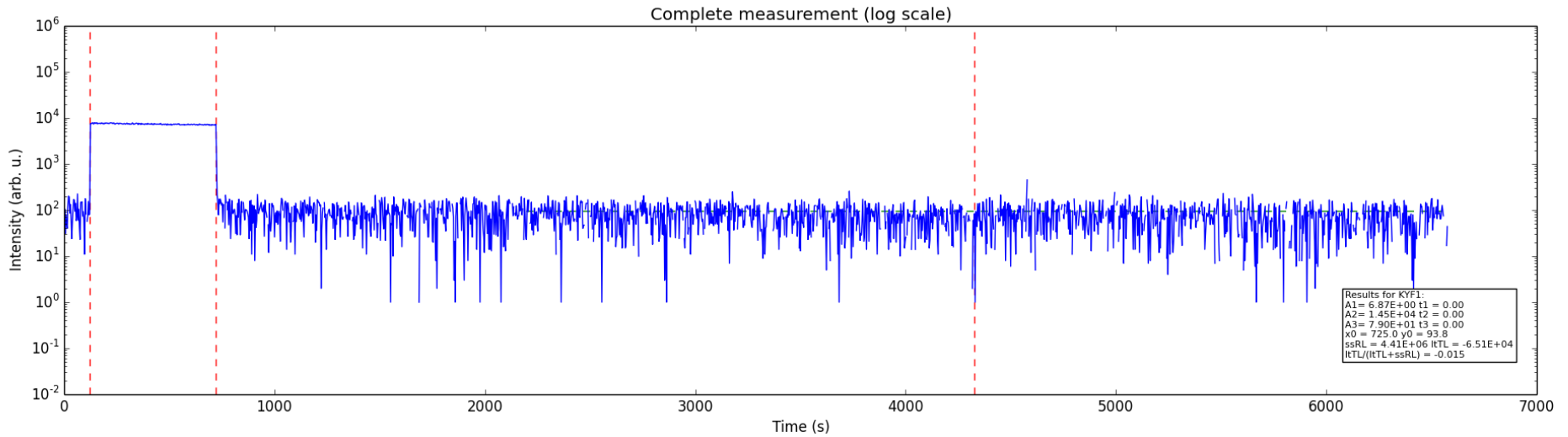
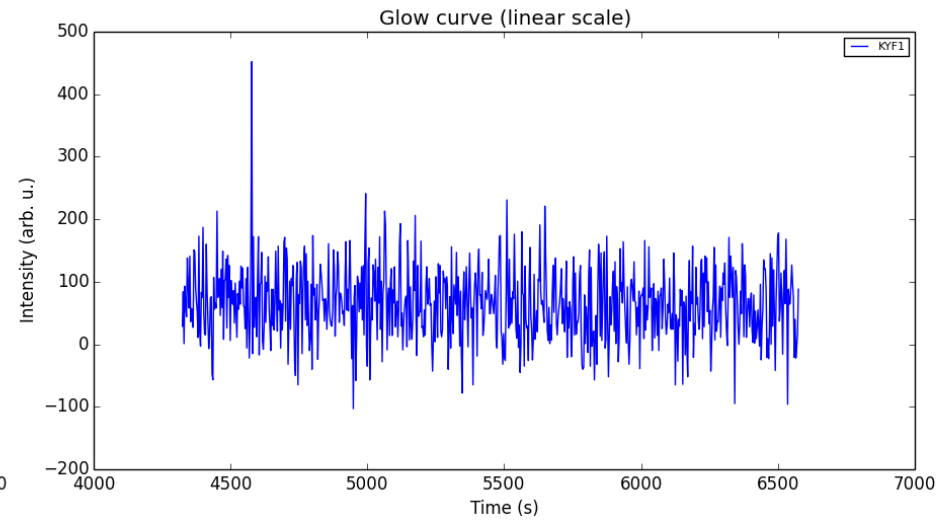
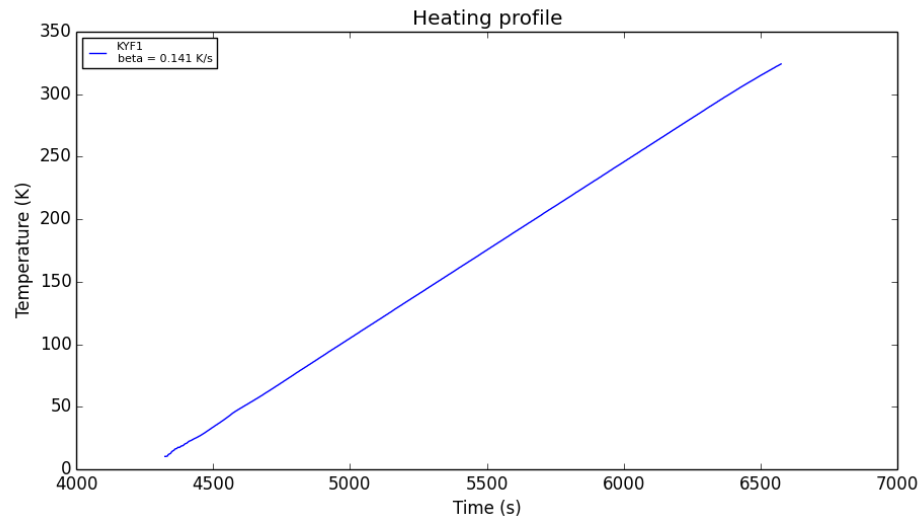


# BaYF\_Nd - radioluminescencija

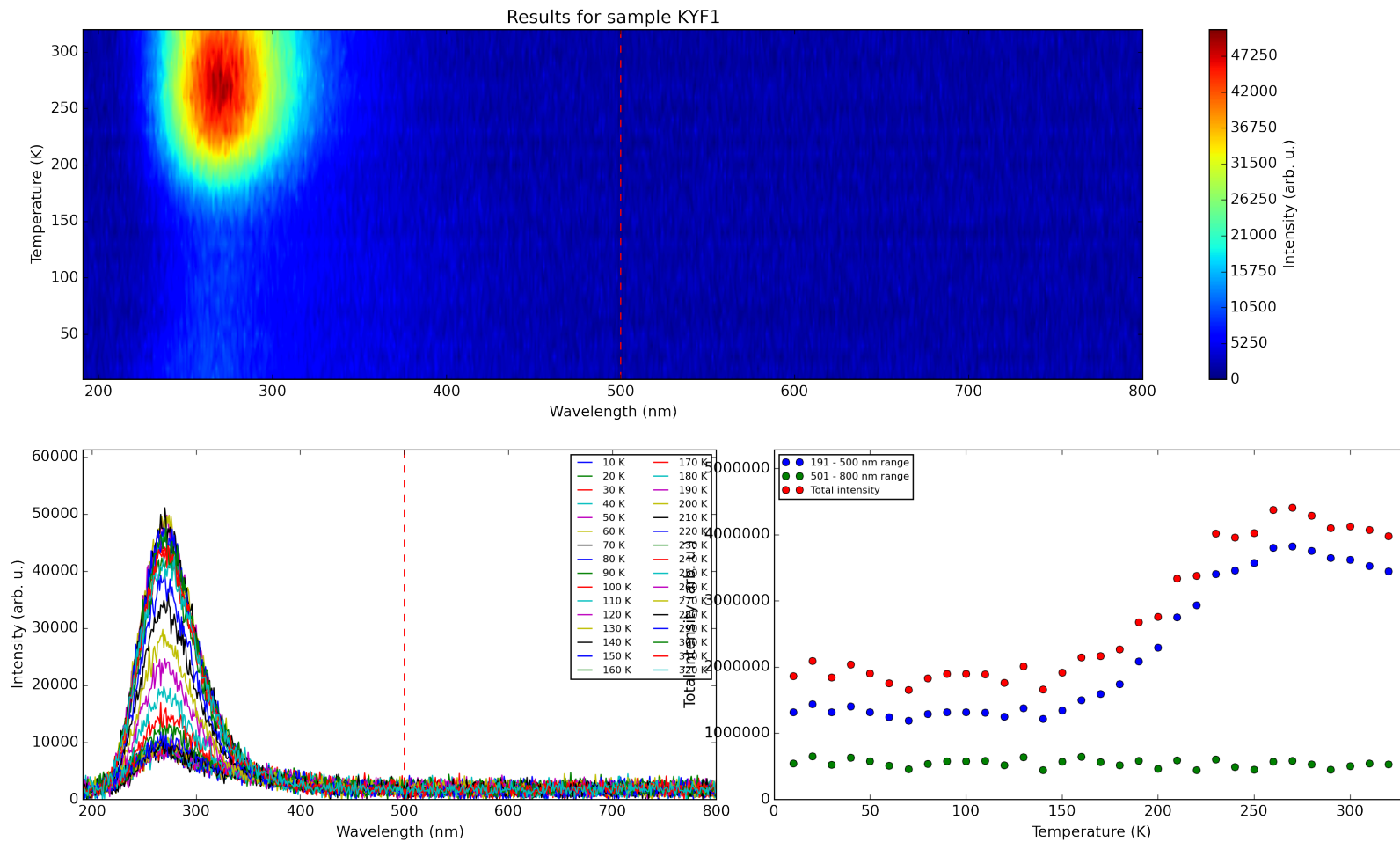




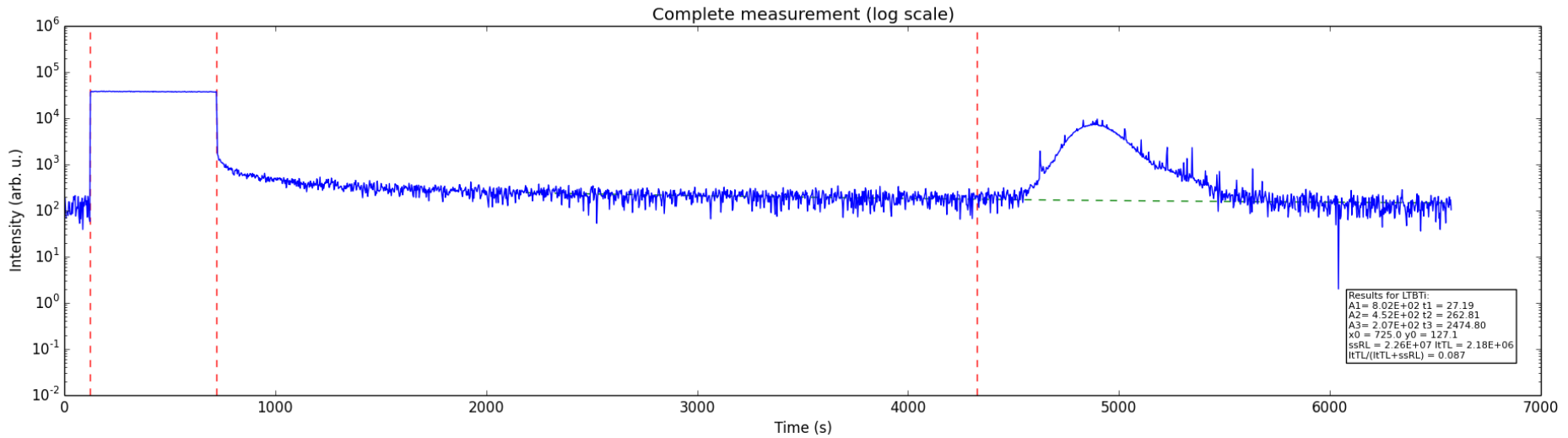
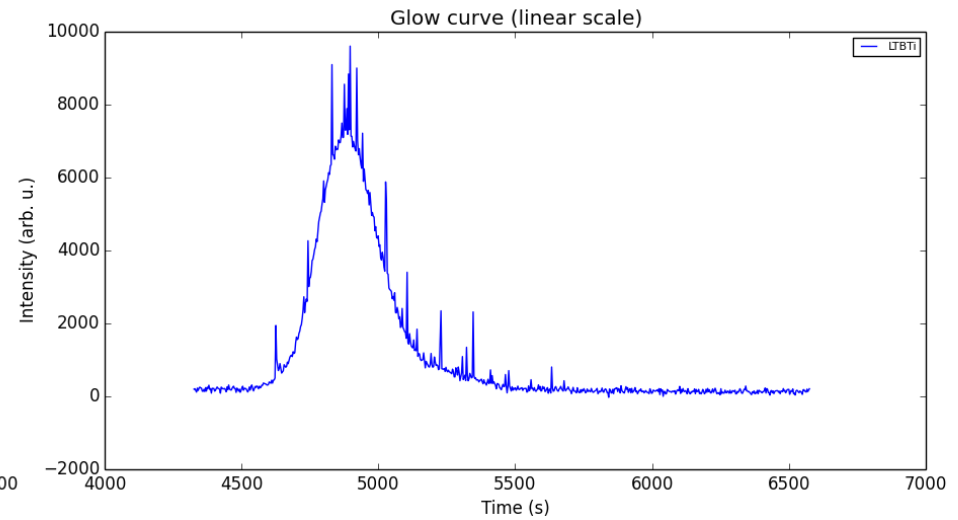
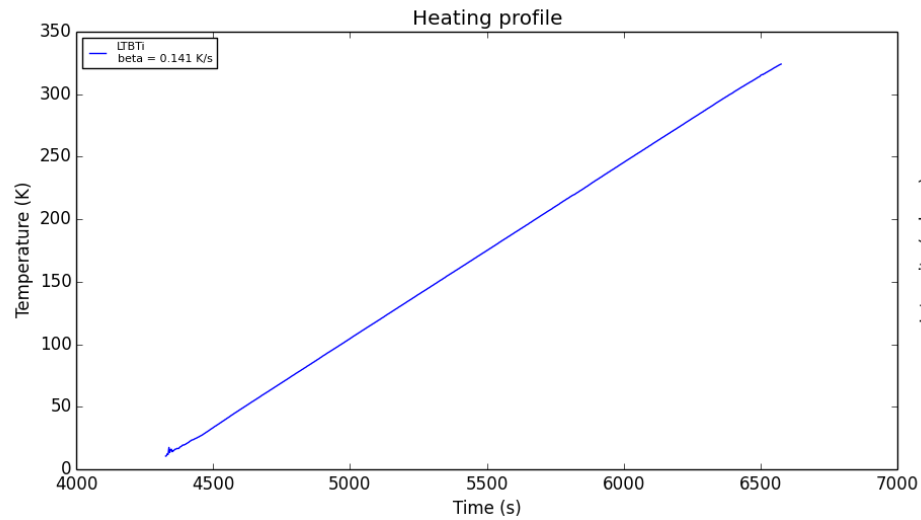
# KYF1 – termoluminescencja



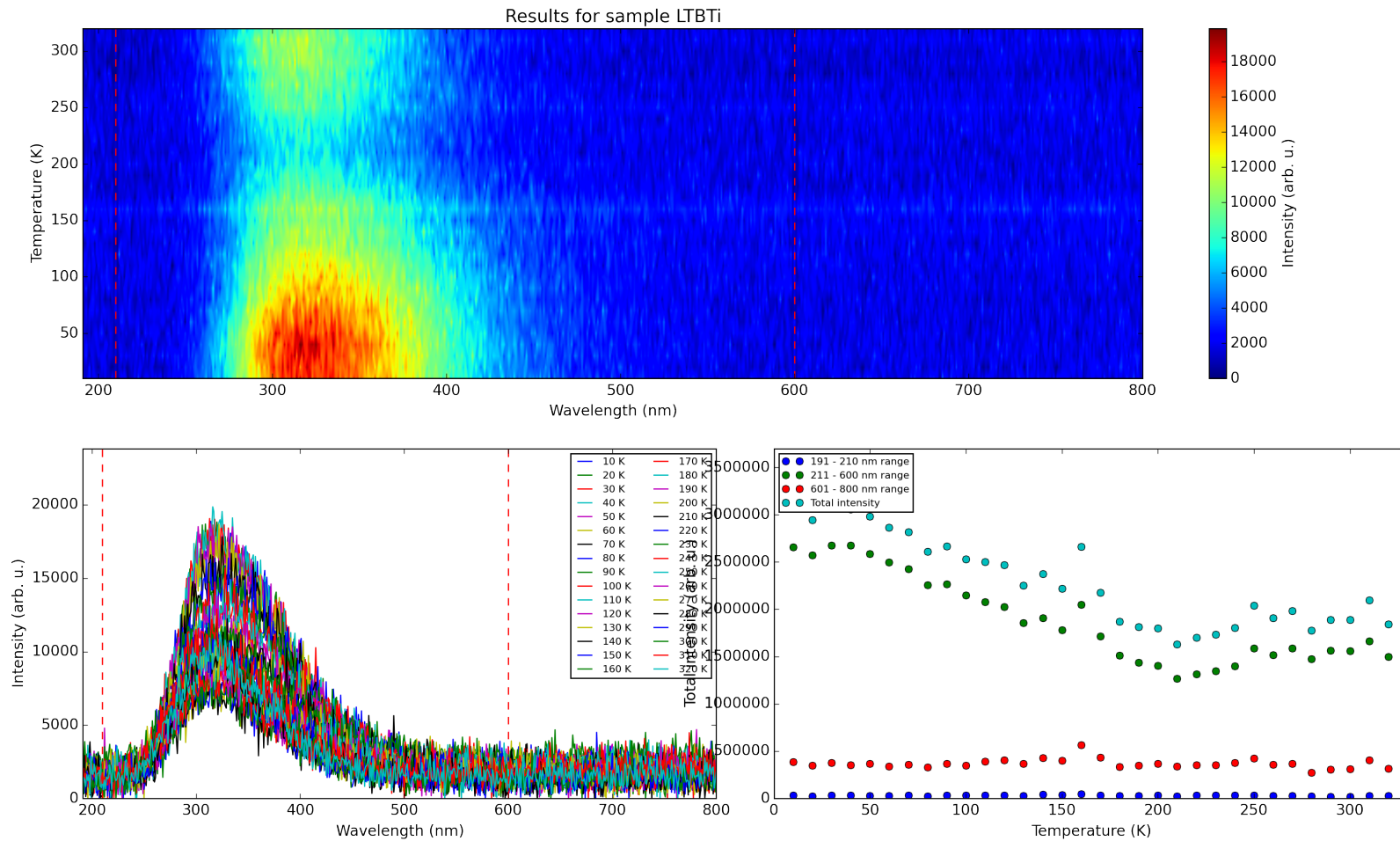
# KYF1 - radioluminescencija



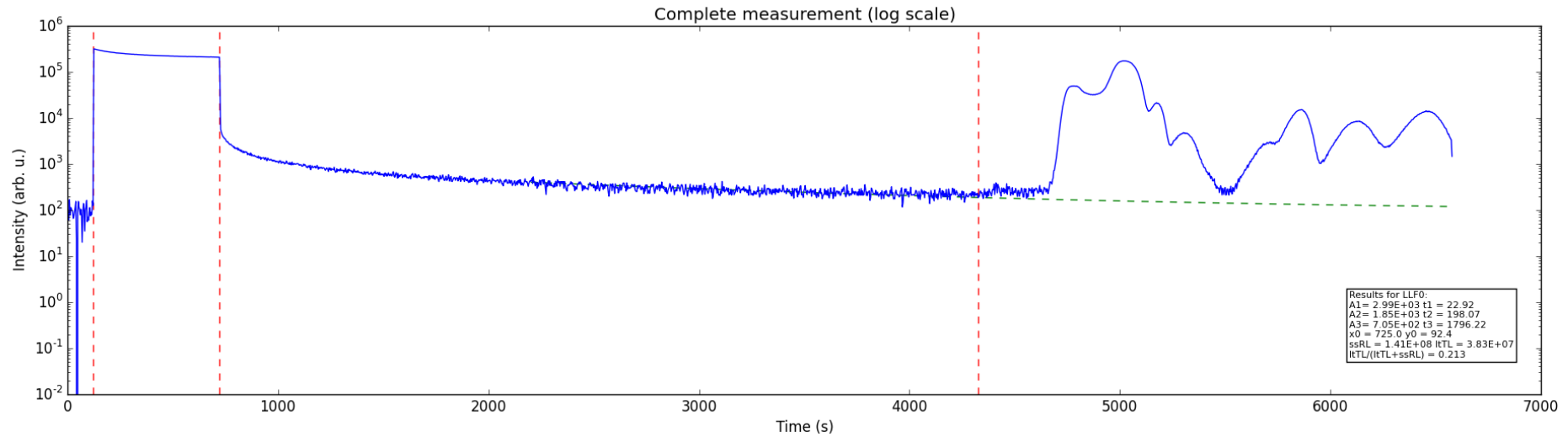
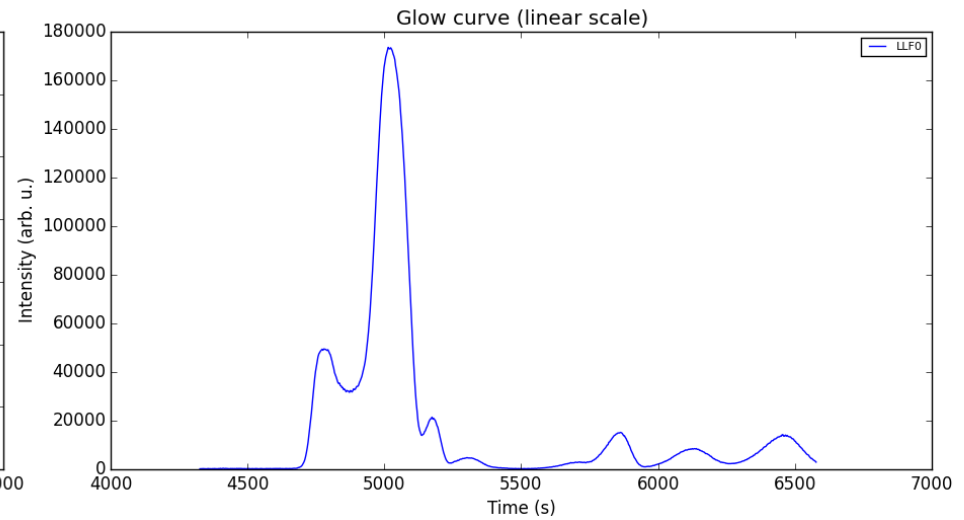
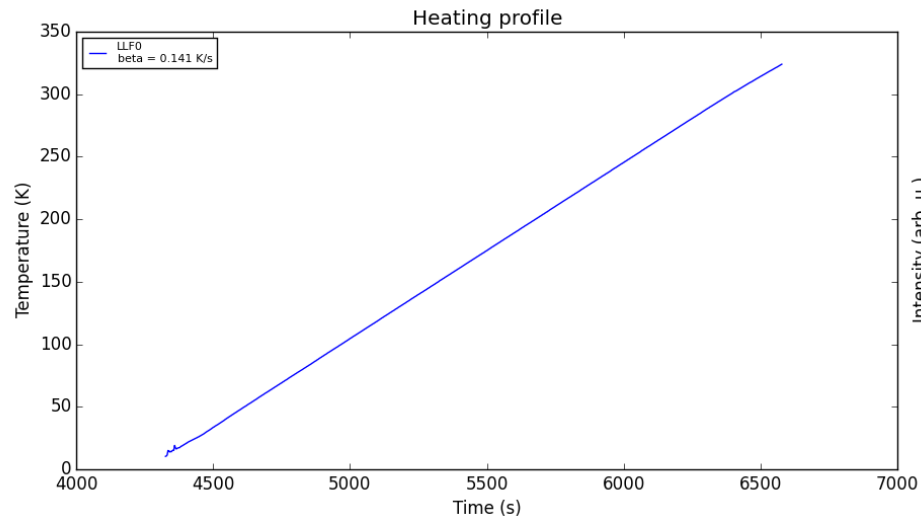
# LTB\_Ti – termoluminescencja



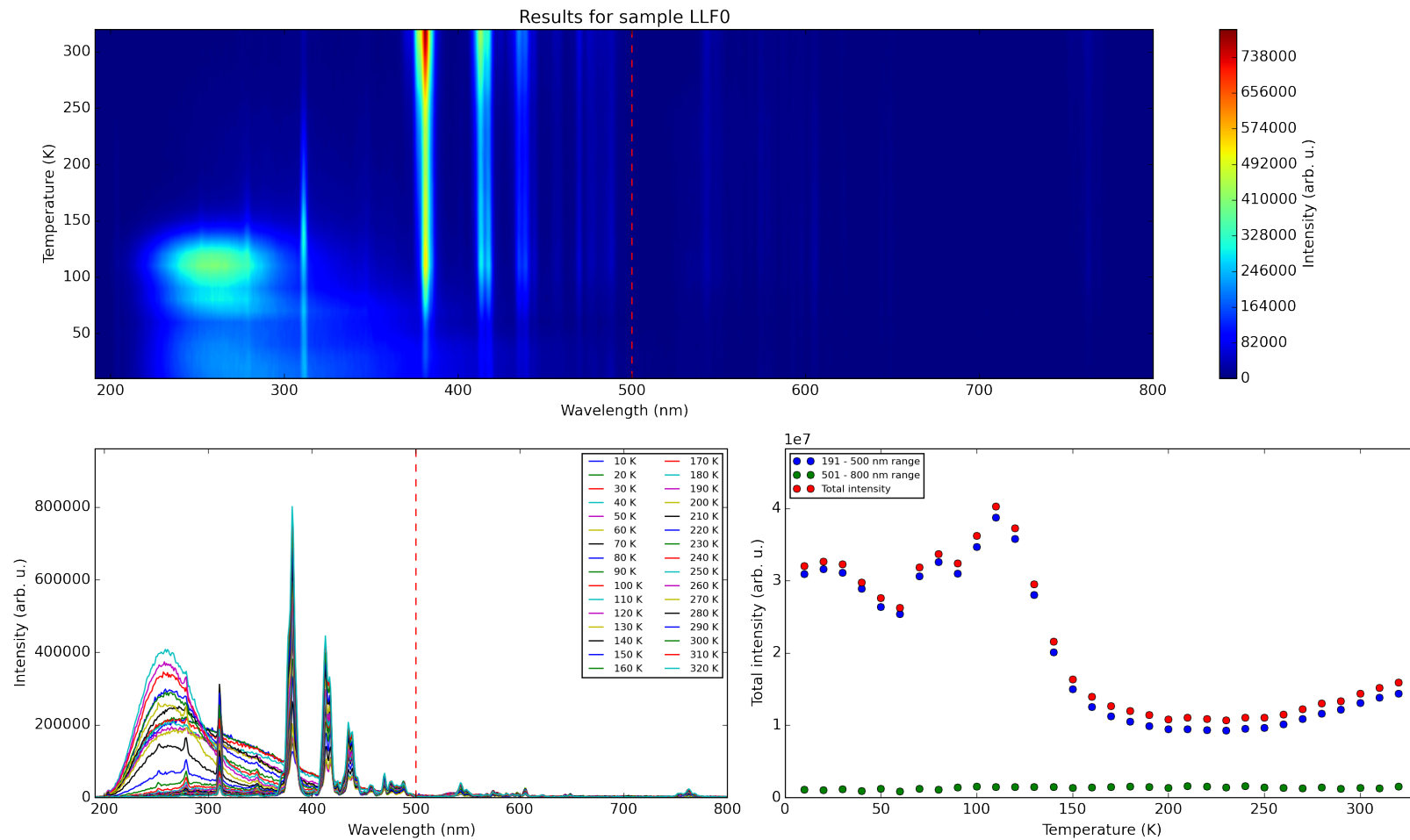
# LTB\_Ti - radioluminescencija



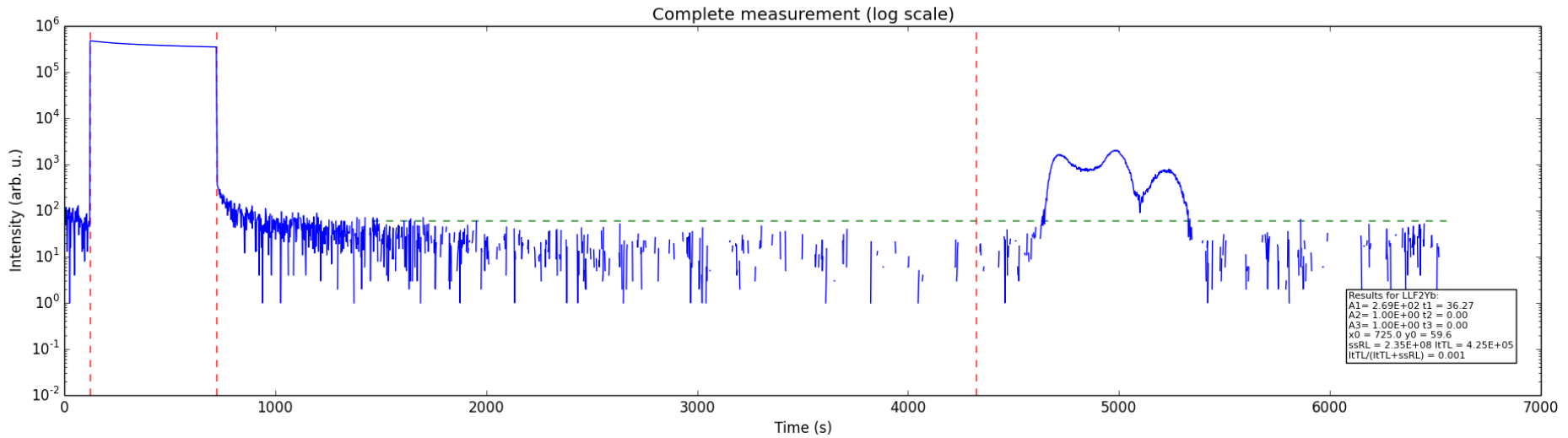
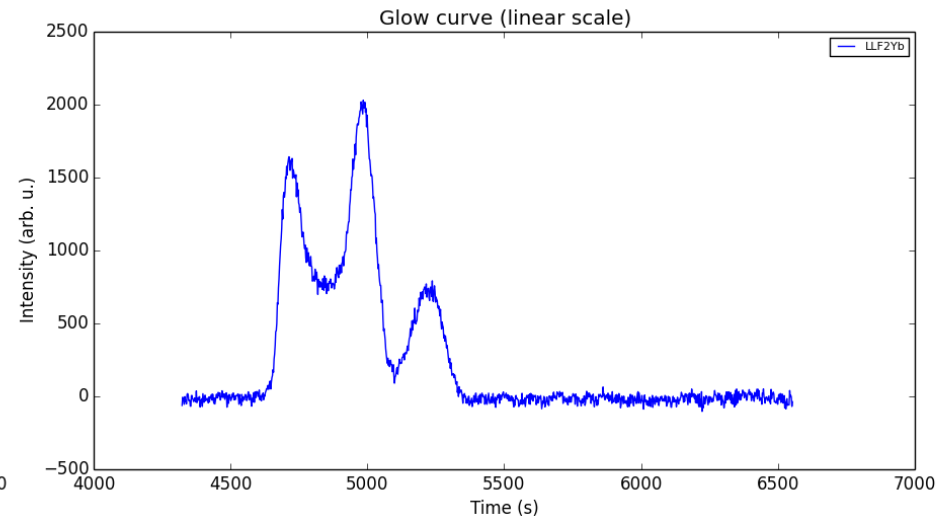
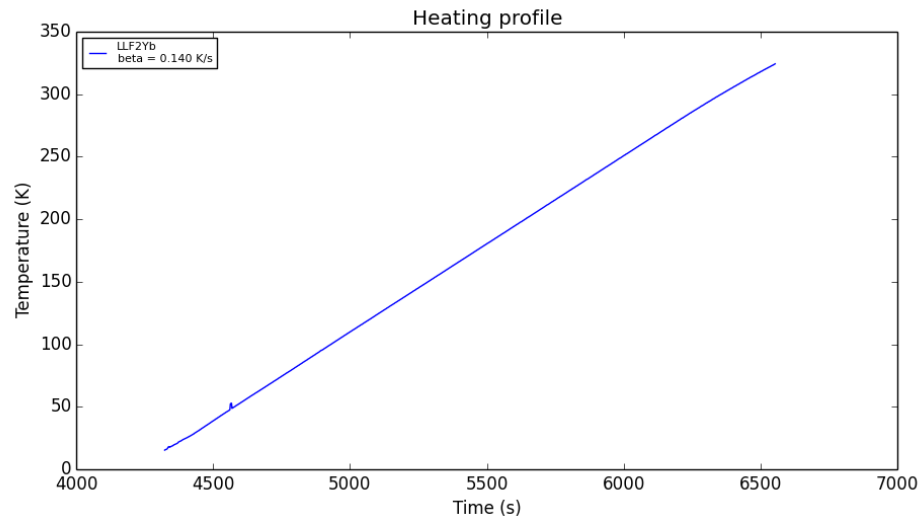
# LLF0 – termoluminescencja



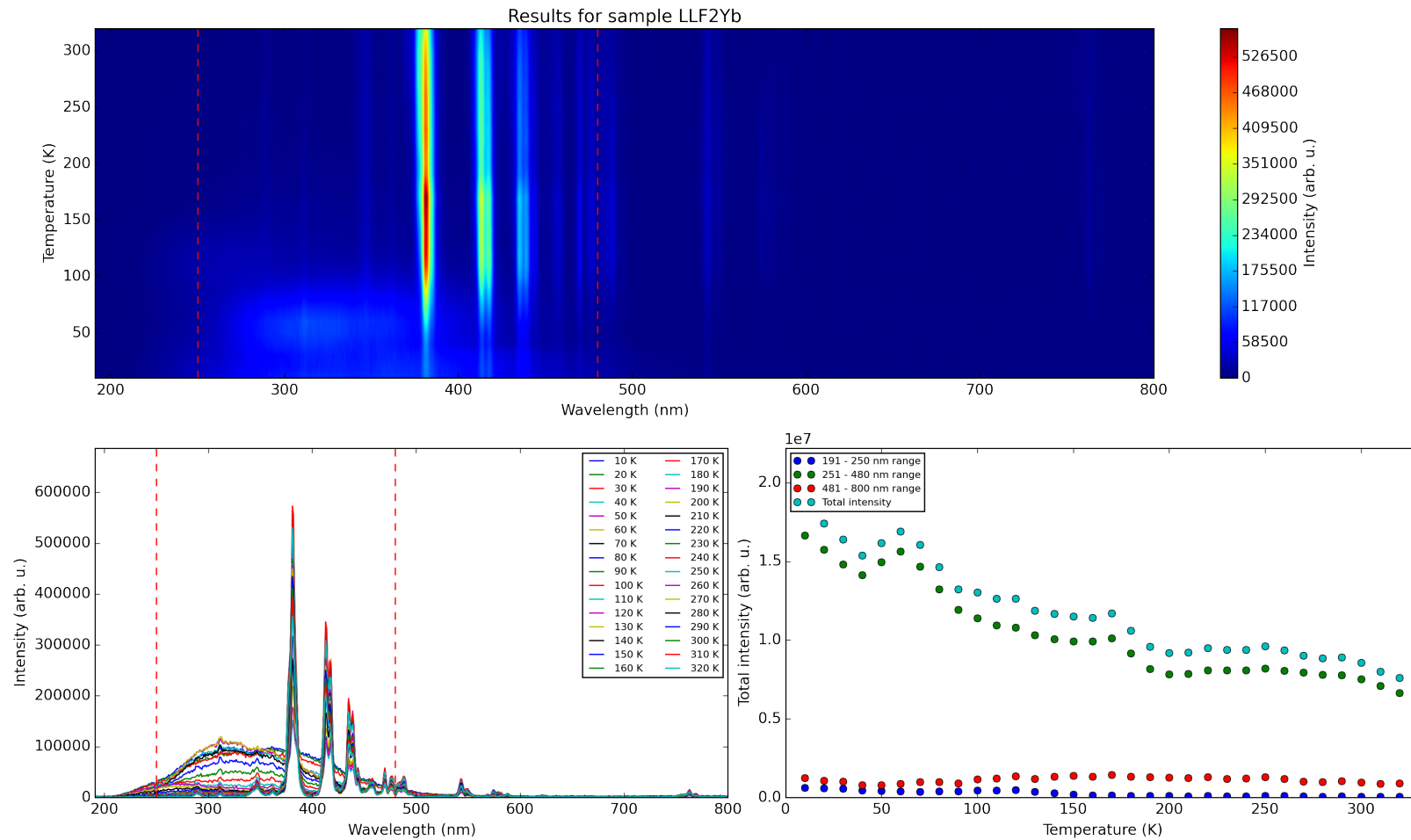
# LLF0 - radioluminescencija



# LLF2\_Yb - termoluminescencja

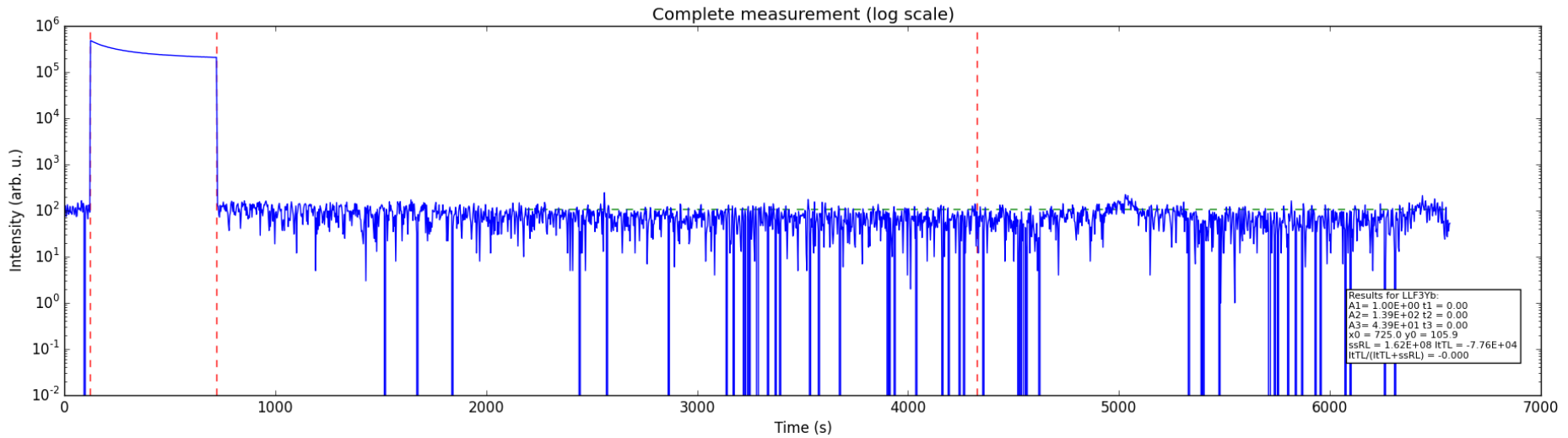
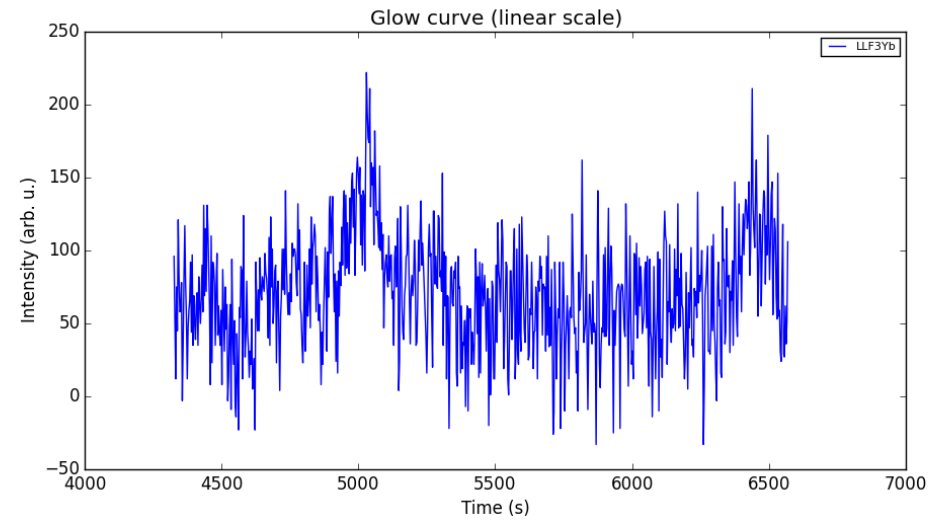
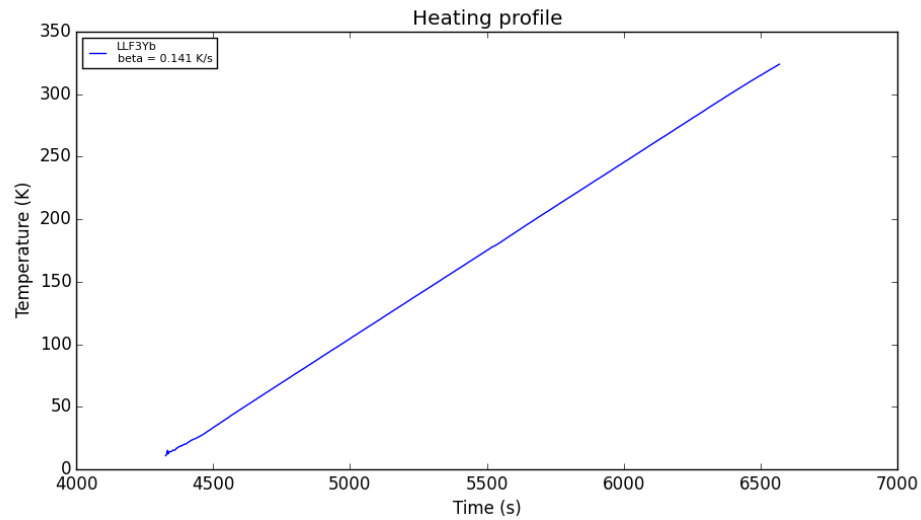


# LLF2\_Yb - radioluminescencija

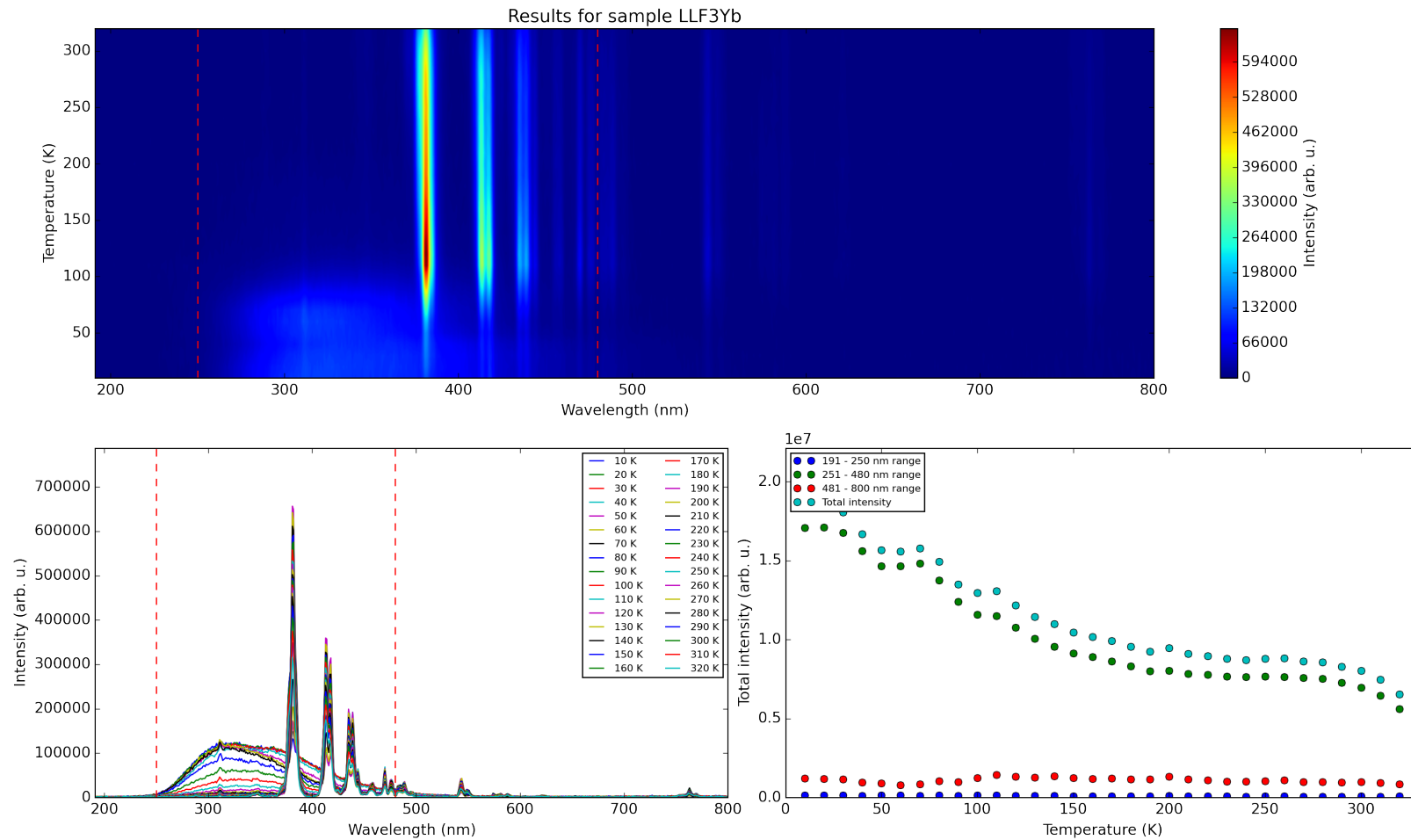




# LLF3\_Yb – termoluminescencja



# LLF3\_Yb - radioluminescencija



# Parametry obliczone dla BaYF.

BaYF:Ce

$$E = \begin{vmatrix} 0,171 \text{ eV} \\ 0,035 \text{ eV} \\ 0,276 \text{ eV} \end{vmatrix}$$

$$s = \begin{vmatrix} 2,902 \cdot 10^{-13} \text{ s} \\ 2,620 \cdot 10^{-12} \text{ s} \\ 1,554 \cdot 10^{-13} \text{ s} \end{vmatrix}$$

BaYF:Nd

$$E = \begin{vmatrix} 0,102 \text{ eV} \\ 0,325 \text{ eV} \\ 0,269 \text{ eV} \end{vmatrix}$$

$$s = \begin{vmatrix} 2,378 \cdot 10^{-14} \text{ s} \\ 8,859 \cdot 10^{-12} \text{ s} \\ 6,777 \cdot 10^{-10} \text{ s} \end{vmatrix}$$

Parametry obliczone dla BaYF.

BaYF:Ce

BaYF:Nd

$$\frac{TL}{TL + ssRL}$$

0,469

0,374

$n_0 = 2.935 \cdot 10^8$

$n_0 = 1.767 \cdot 10^8$

Wnioski

# Podziękowania



Dziękuję za uwagę . .

Dziękuję za uwagę . .

. . i proszę o zadawanie pytań . .