



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

# Konfokalna mikroskopia rentgenowska

Dariusz Węgrzynek

*Zespół Badań Biomedycznych i Środowiskowych  
Katedra Fizyki Medycznej i Biofizyki  
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH*

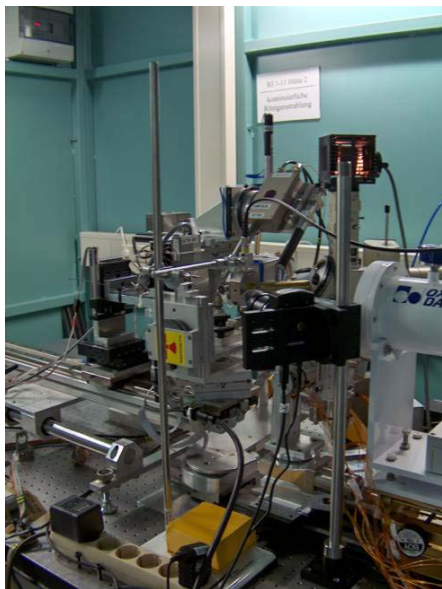
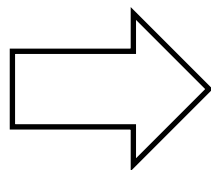


**AGH**

# Laboratorium MAEA w Seibersdorfie

## XRF Group (MAEA):

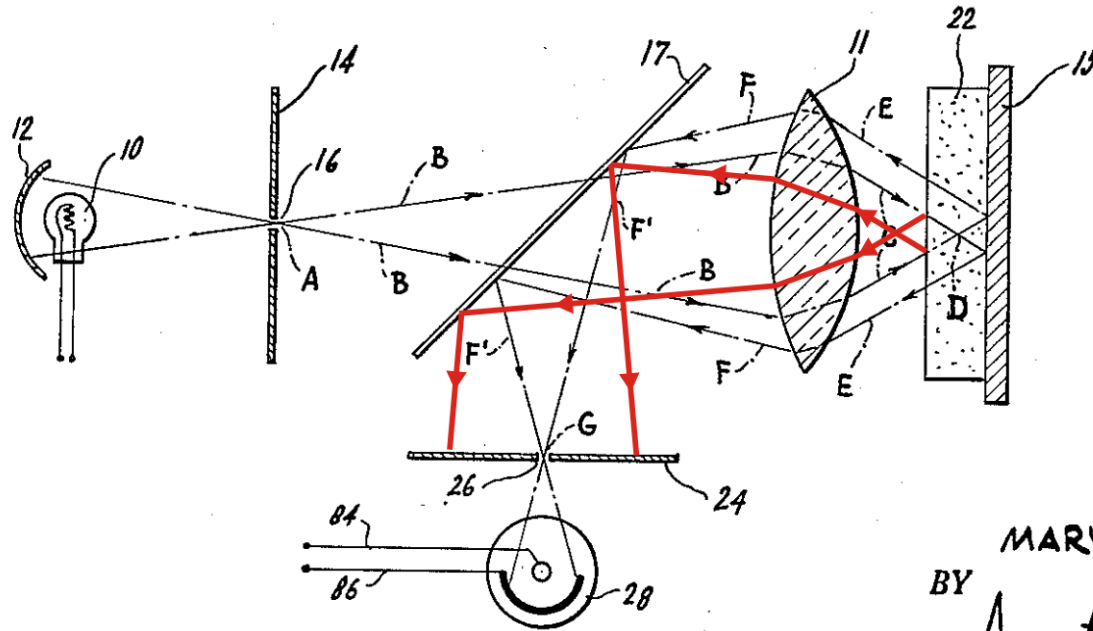
A. Markowicz  
D. Węgrzynek  
E. Chinea-Cano  
S. Bamford



## Synchrotron ANKA w Karlsruhe

D. Węgrzynek, E. Chinea-Cano (MAEA)  
M. Bielewski (AGH, stypendysta MAEA)  
N. Zoeger, P. Wobrauschek, C. Strelt (ATI, Austria)  
R. Simon (ANKA, Germany)

# Mikroskopia konfokalna



(1957)

FIG. 3.

INVENTOR.

MARVIN MINSKY

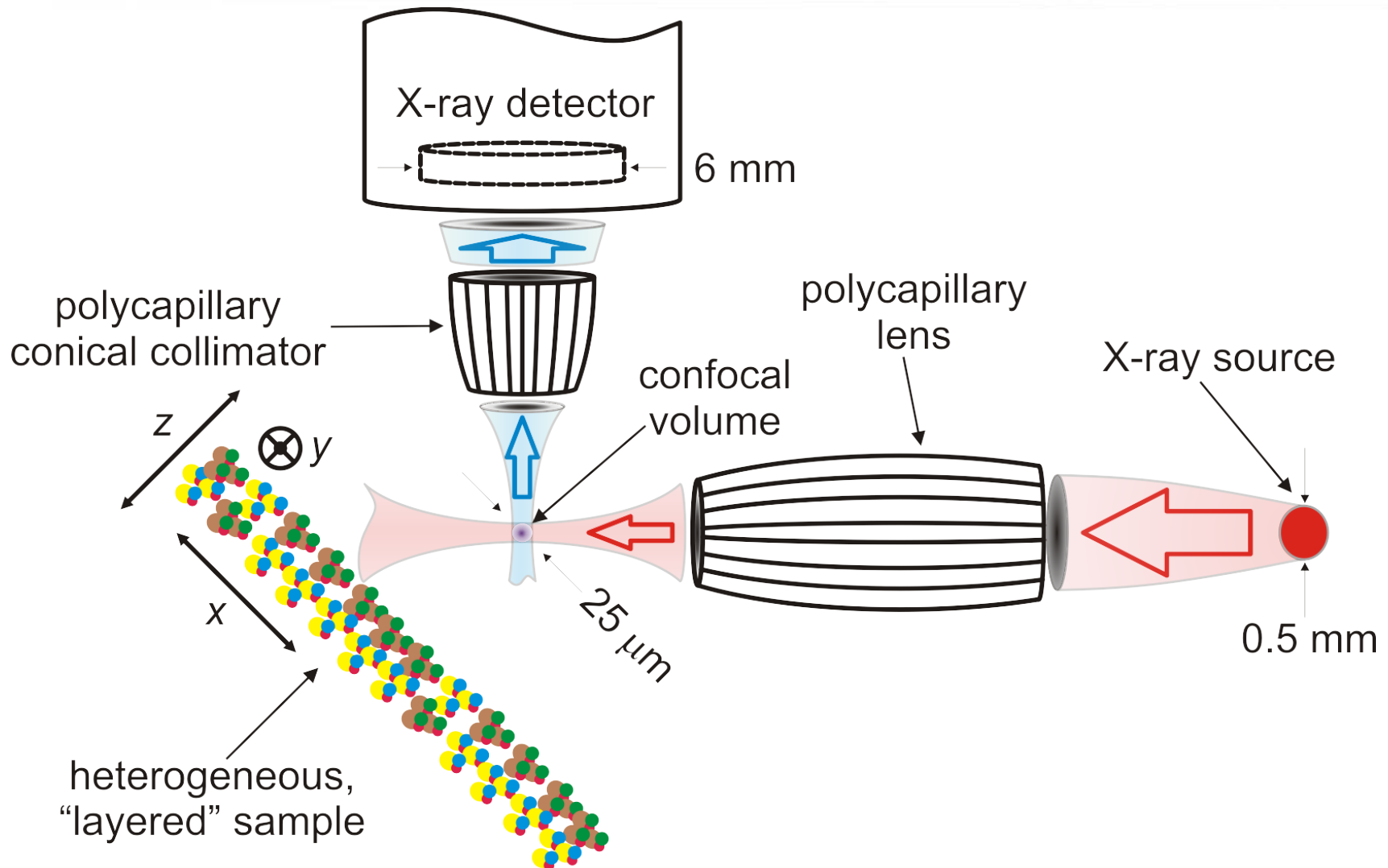
BY

*Amster & Levy*  
ATTORNEYS

Microscopy apparatus

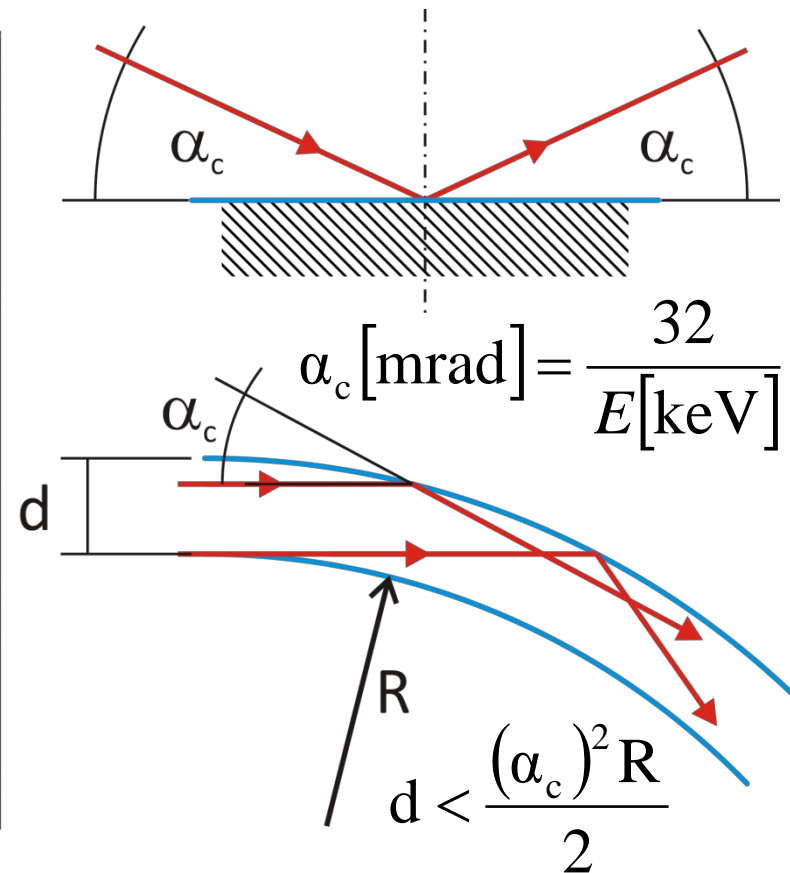
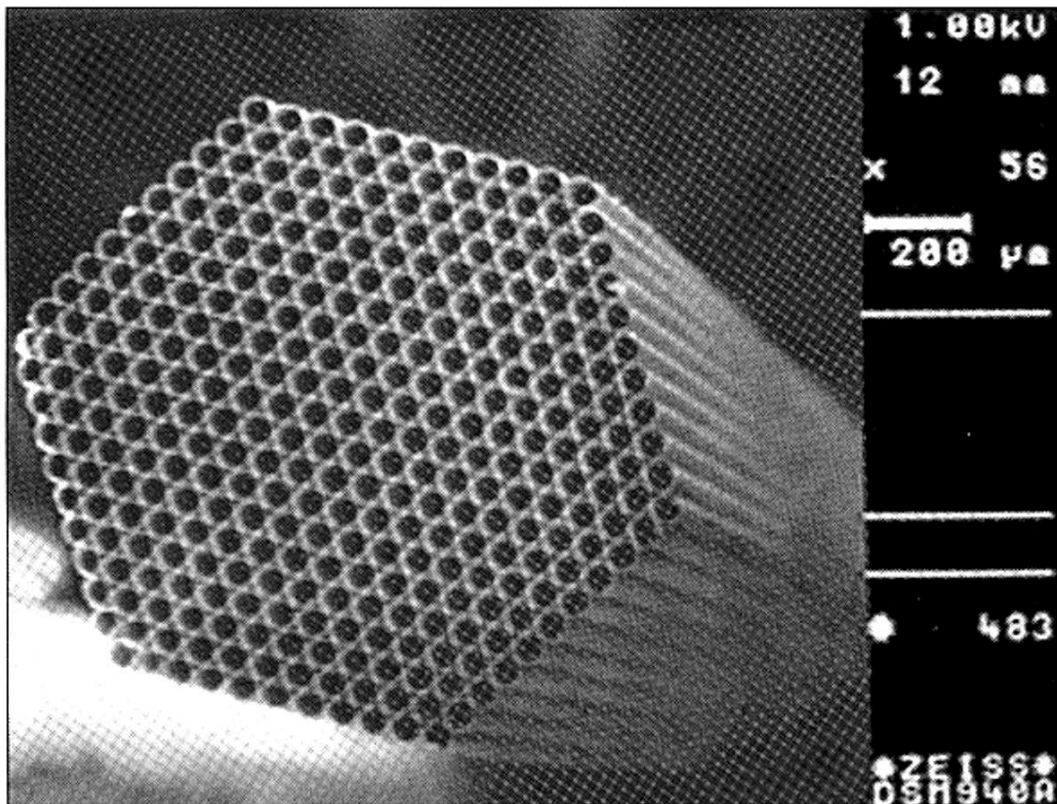
Marvin Minsky, US patent number: US003013467

# Rentgenowska mikroskopia konfokalna



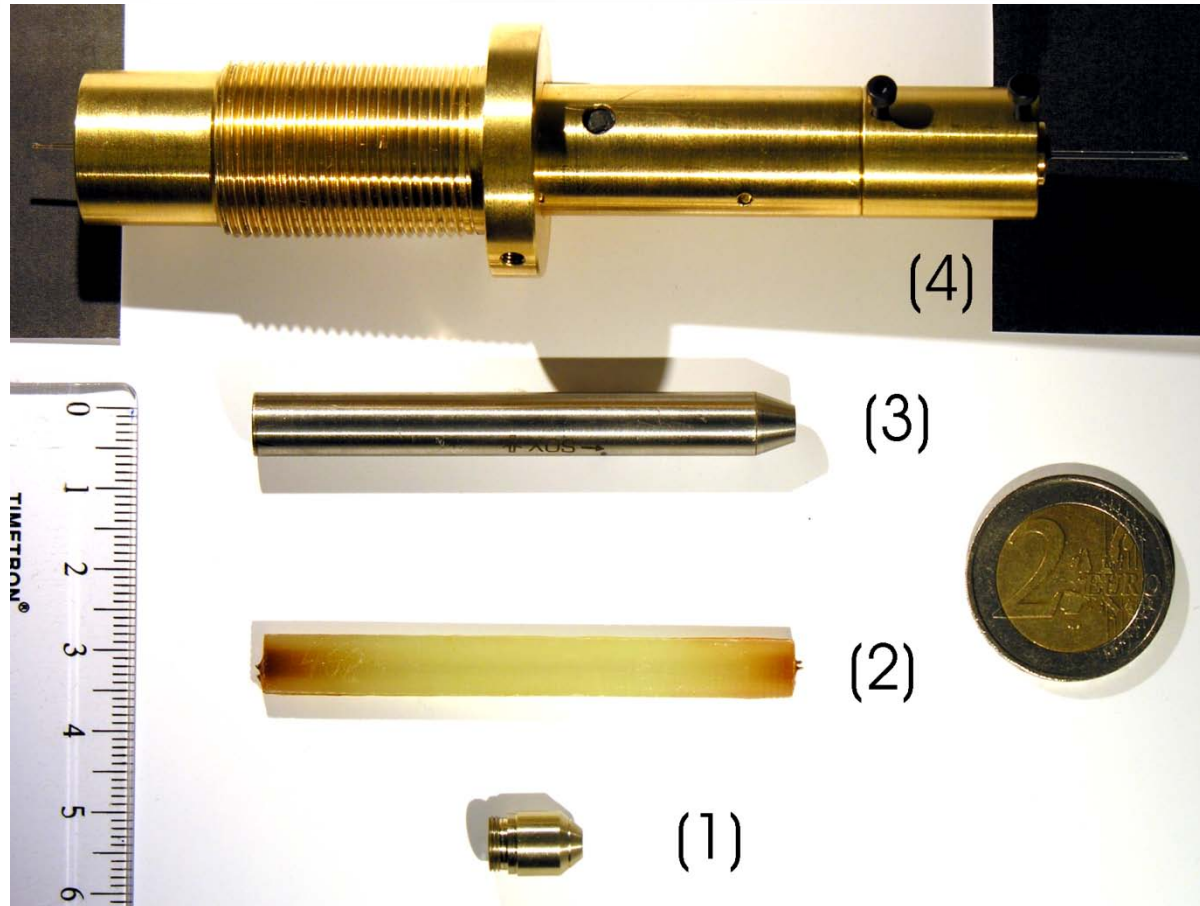


# Ogniskowanie promieniowania X



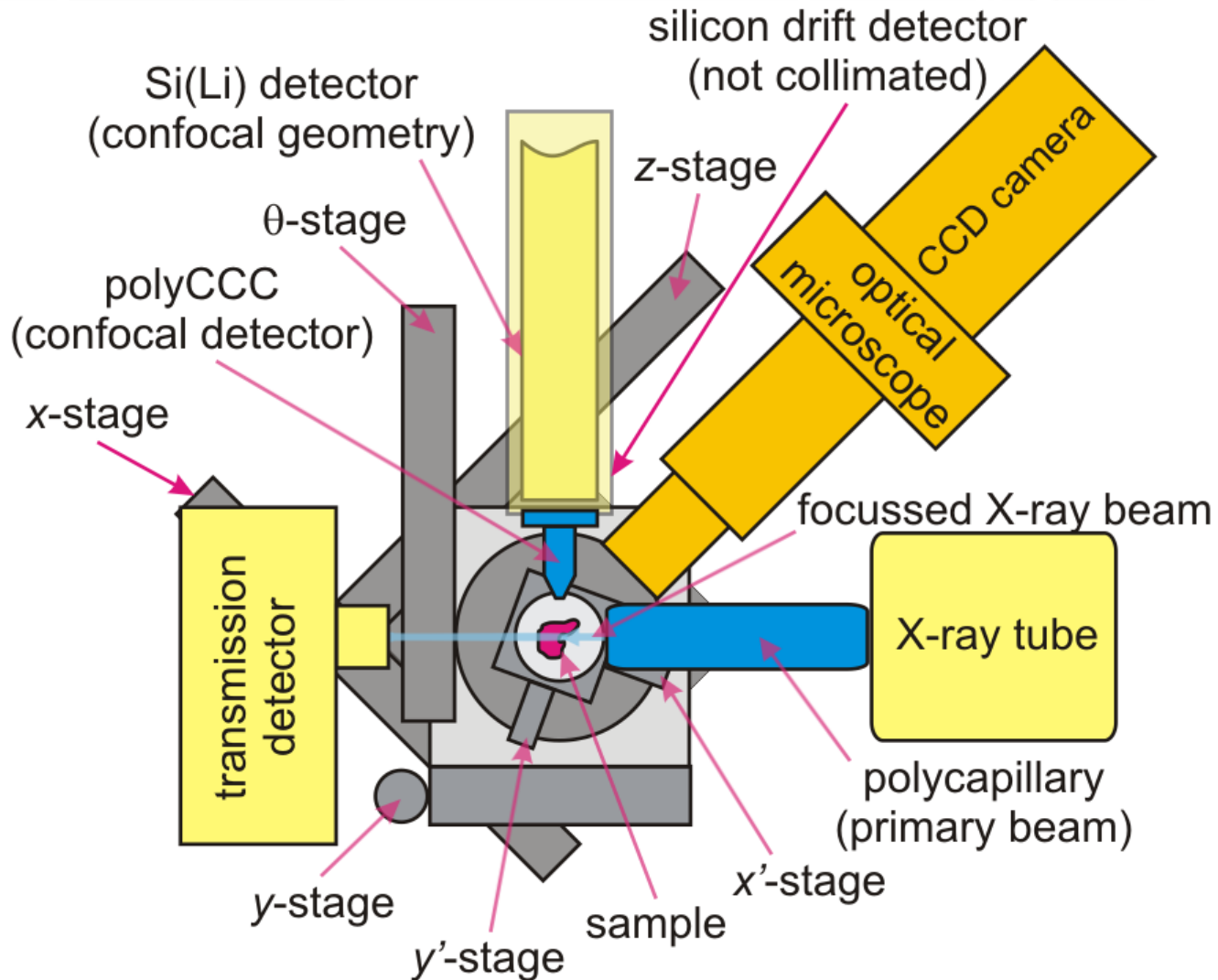
Wiązka włókien, wymiar kanałów wewnętrznych około 50  $\mu\text{m}$ . W typowej polikapilarze średnica kanału 5-10  $\mu\text{m}$ .

# Ogniskowanie promieniowania X



(1) Kolimator polikapilarny, (2) kapilara metaliczna, (3) polikapilara, (4) kapilara szklana.

# Skaningowy spektrometr rentgenowski





# Skaningowy spektrometr rentgenowski

Si drift detector (fluorescence)  
on a stage

optical microscope

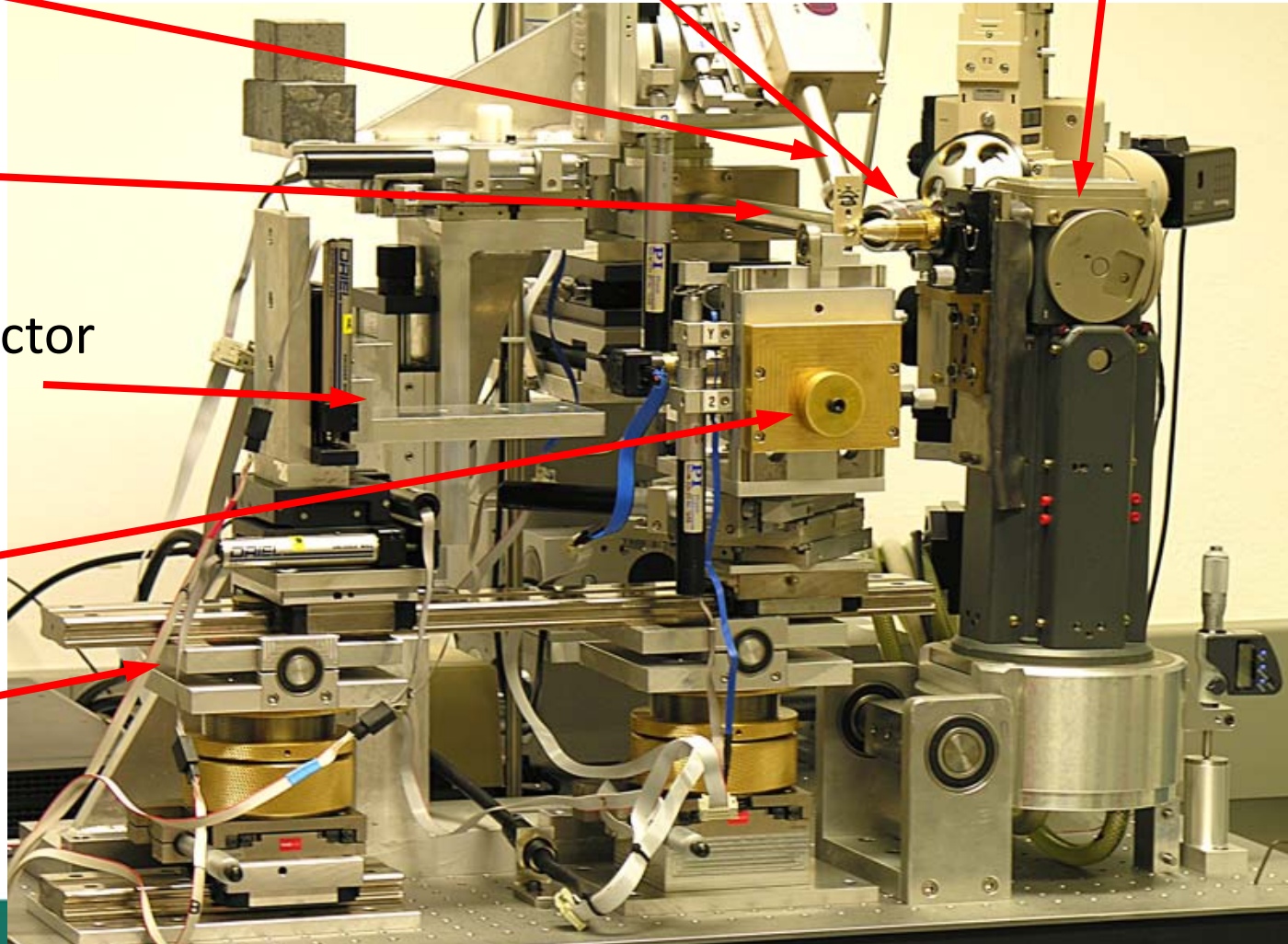
X-ray tube

Si(Li) detector  
(confocal)

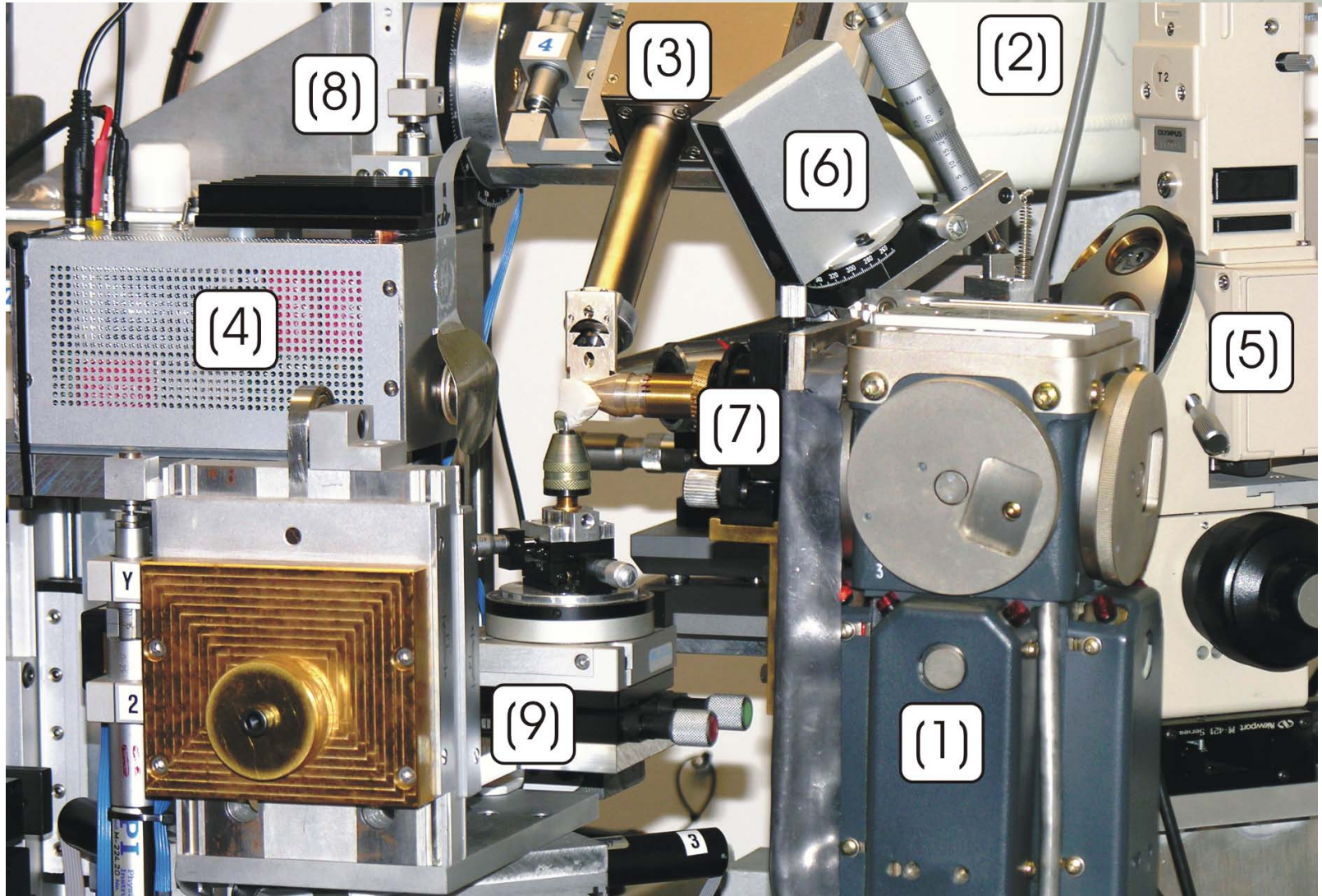
transmission detector  
stage

sample stage

optical bench

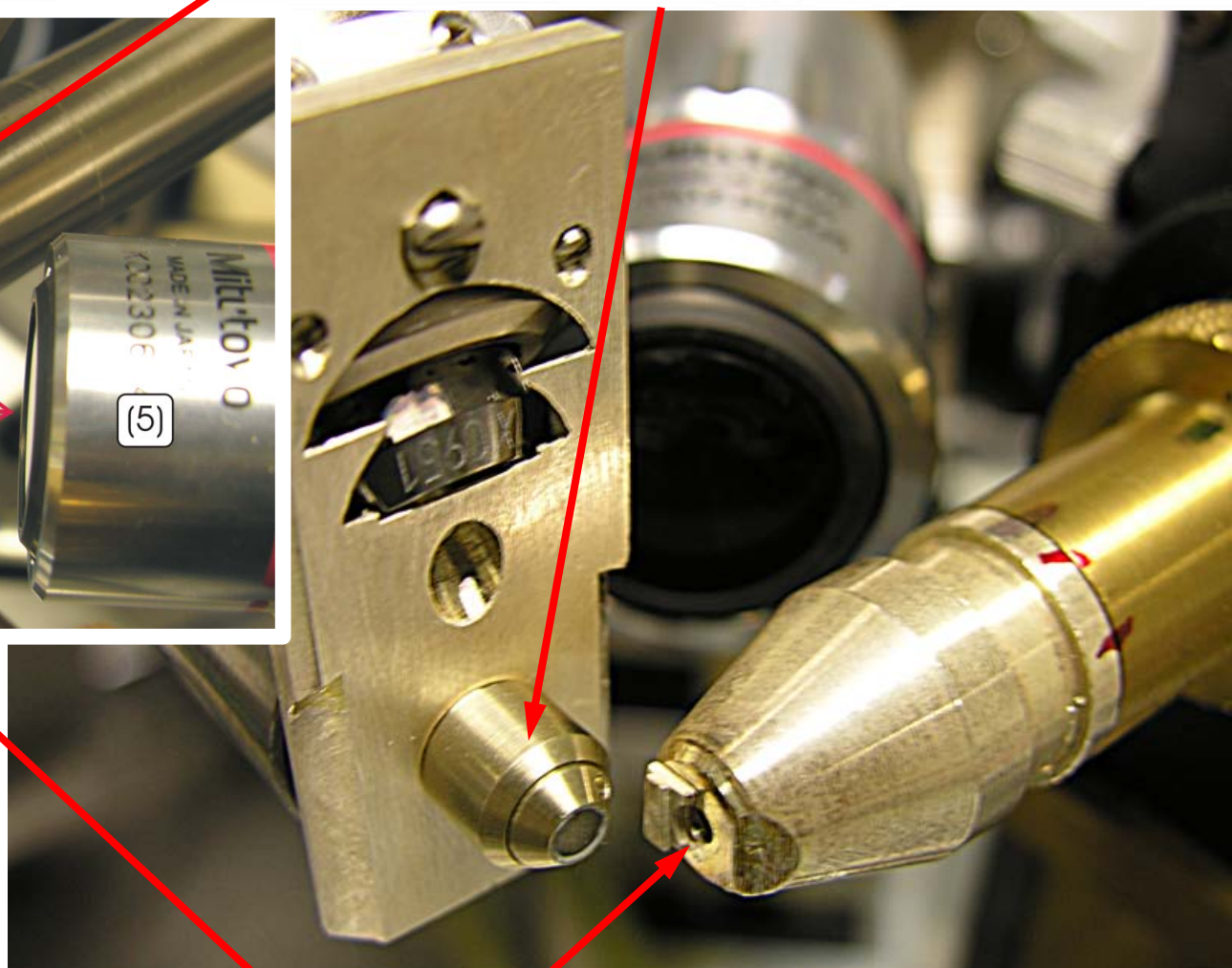
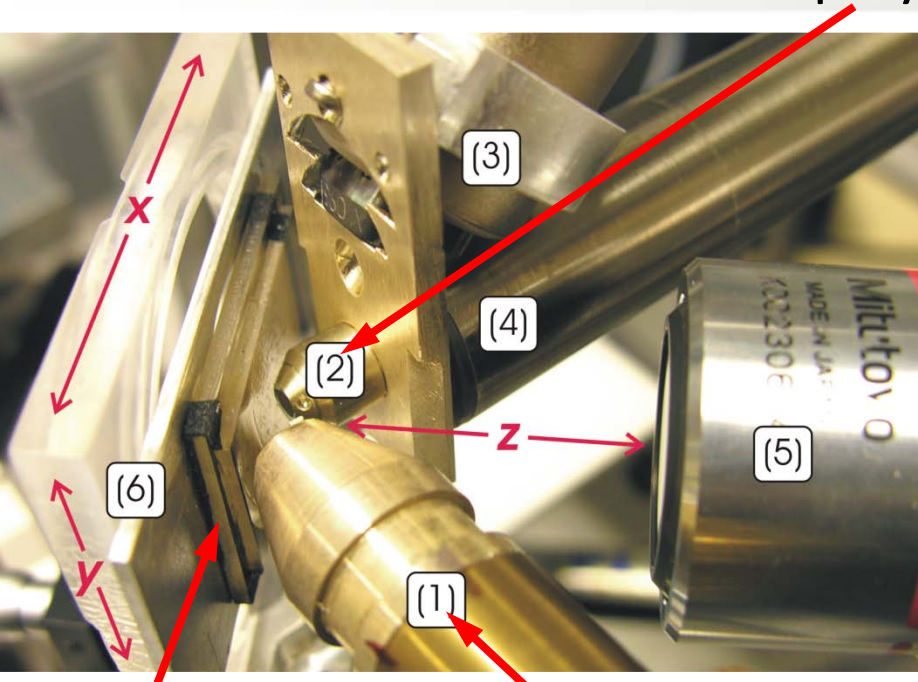






# Skaningowy spektrometr rentgenowski

polyCCC (in front of the confocal detector)

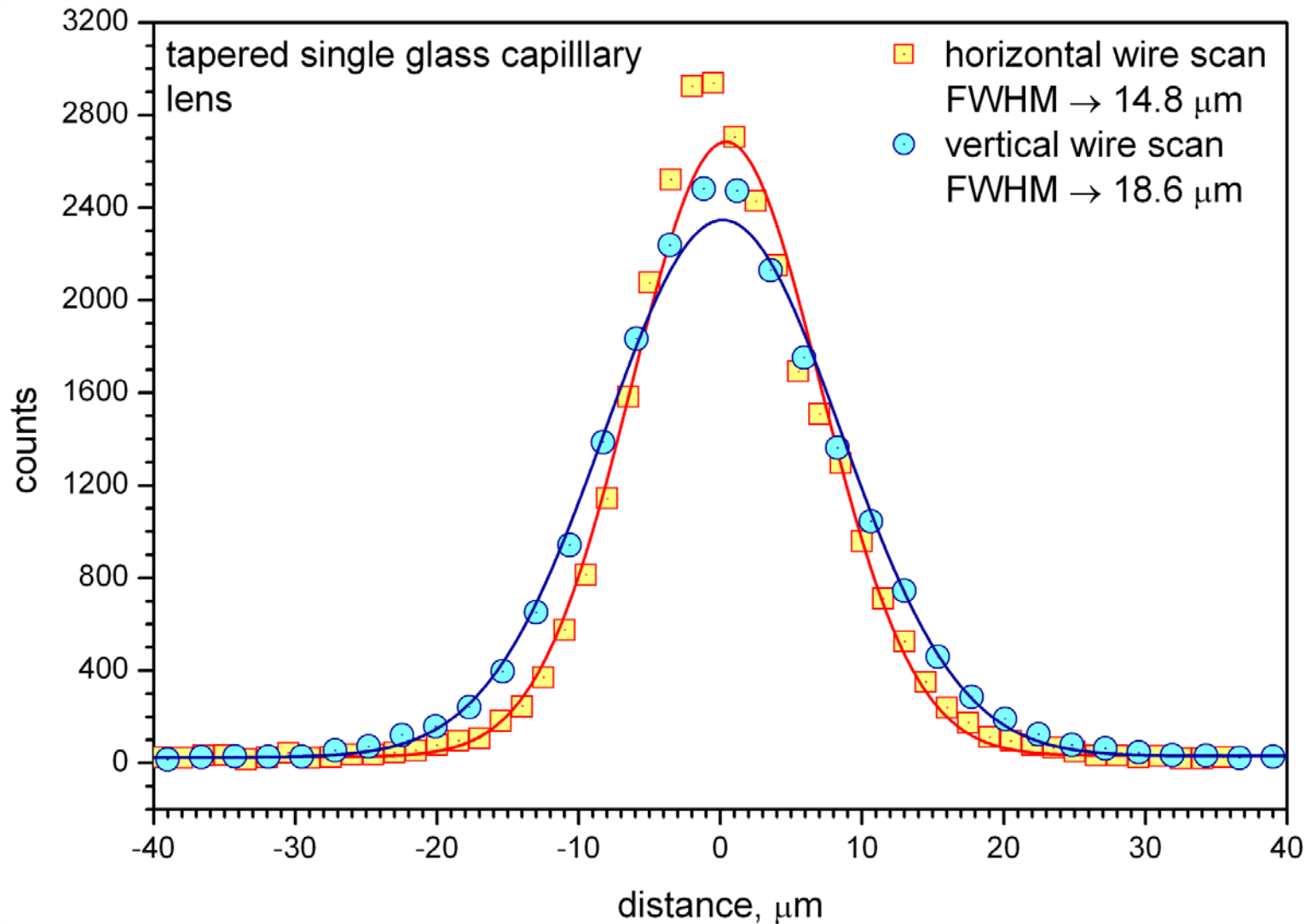


sample in measuring position

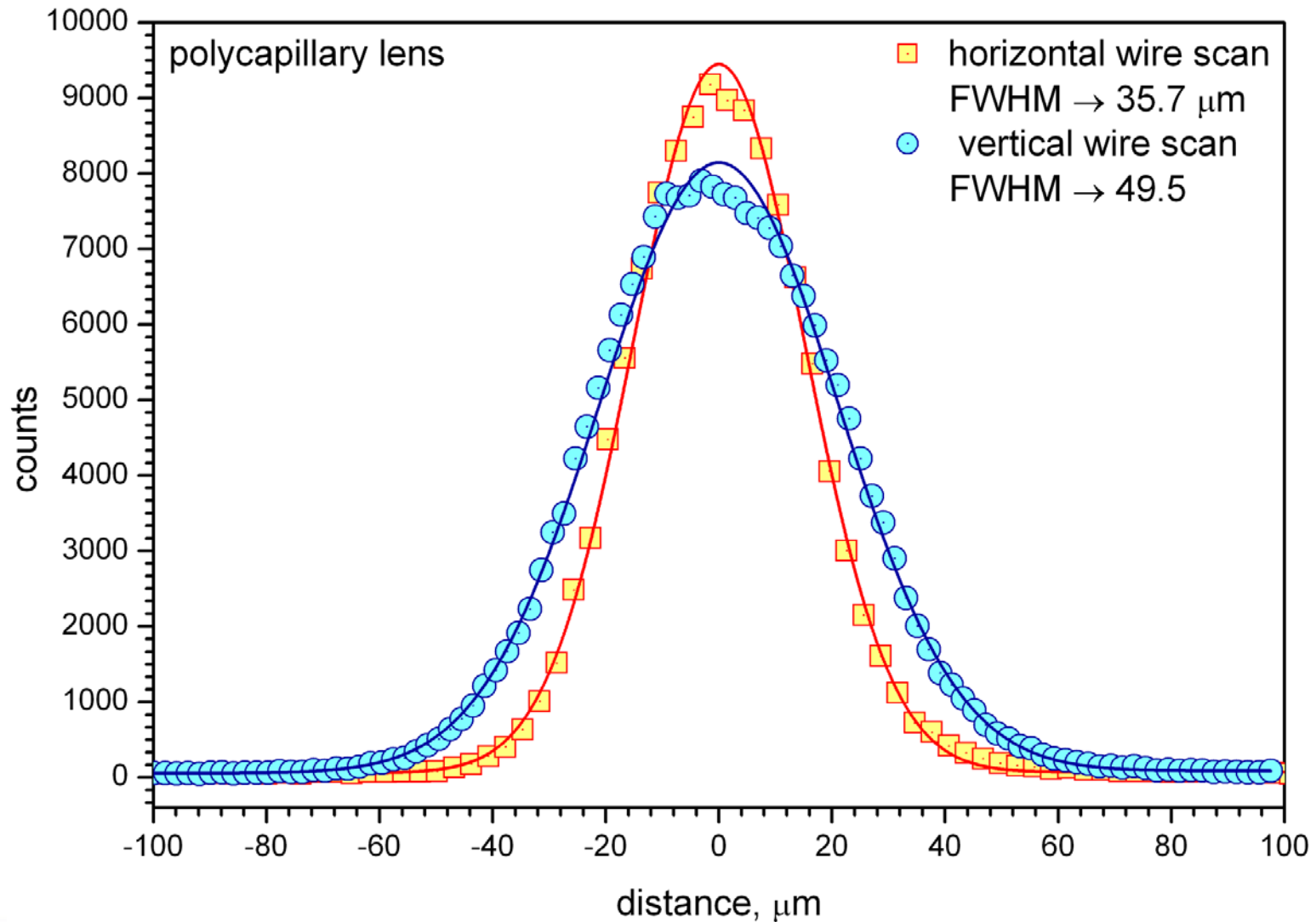
polycapillary (primary beam)



# Przestrzenna zdolność rozdzielcza ( pojedyncza kapilara szklana)

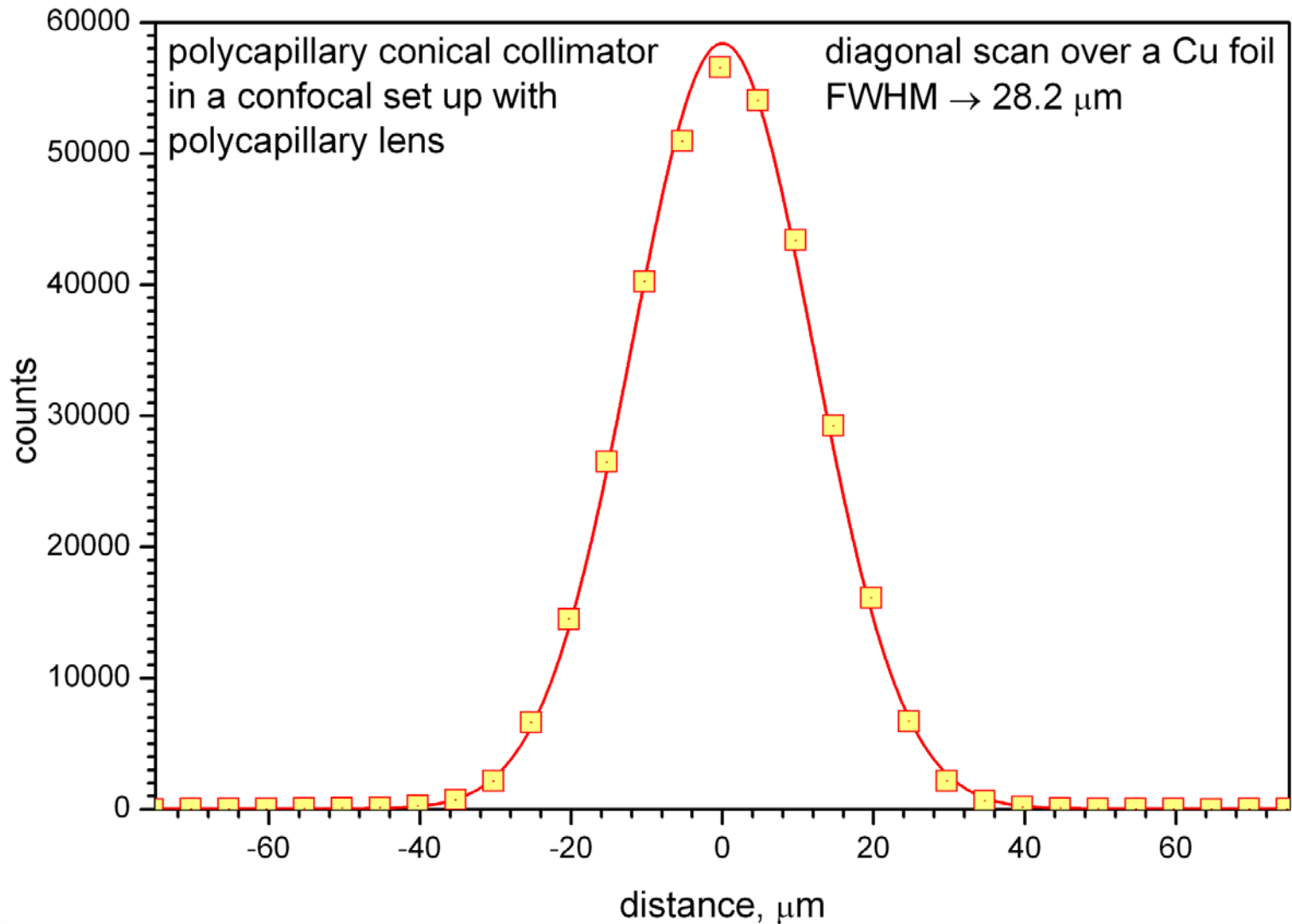


# Przestrzenna zdolność rozdzielcza (polikapilara)

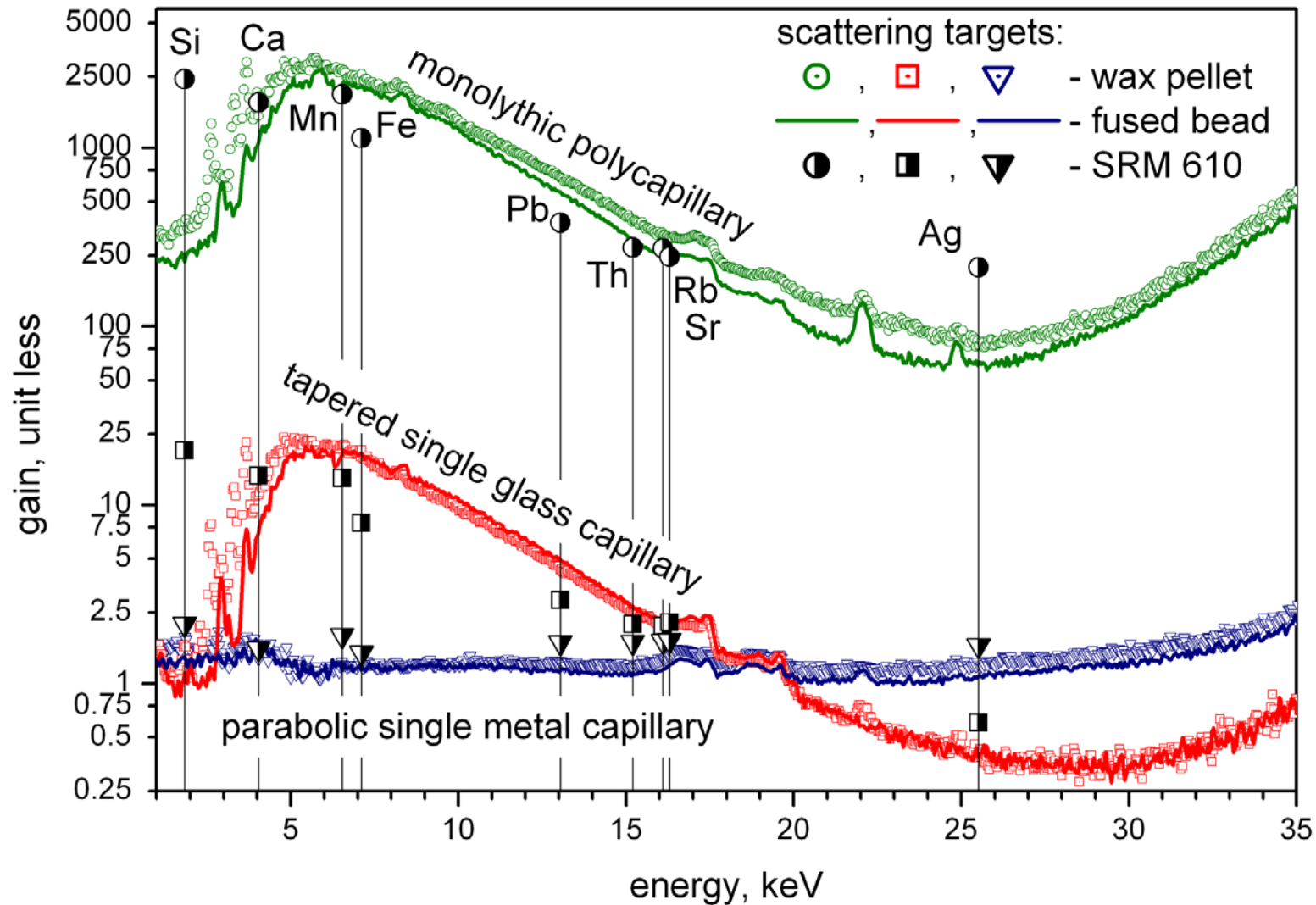




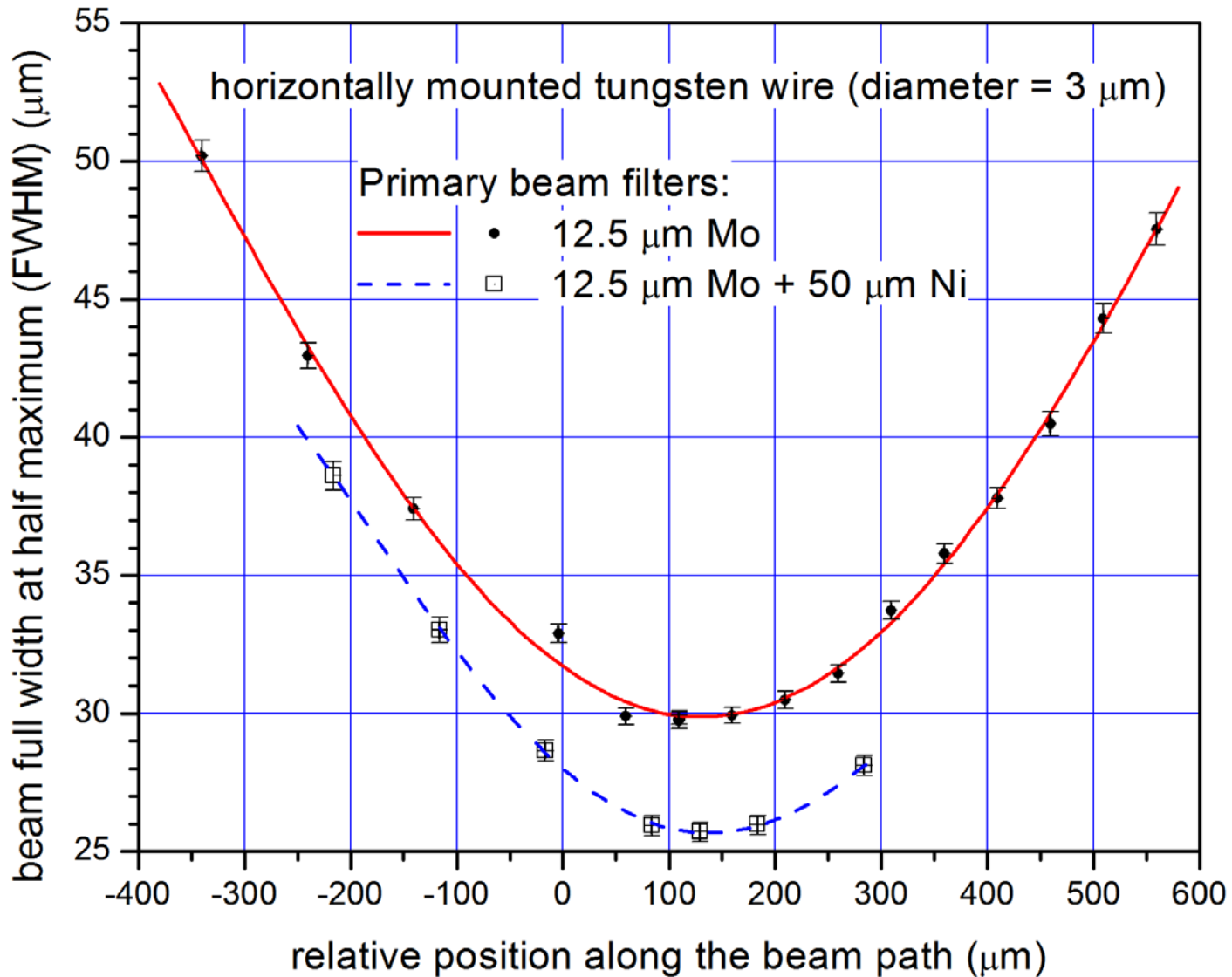
# Przestrzenna zdolność rozdzielcza ( polikapilara+kolimator polikapilarny)



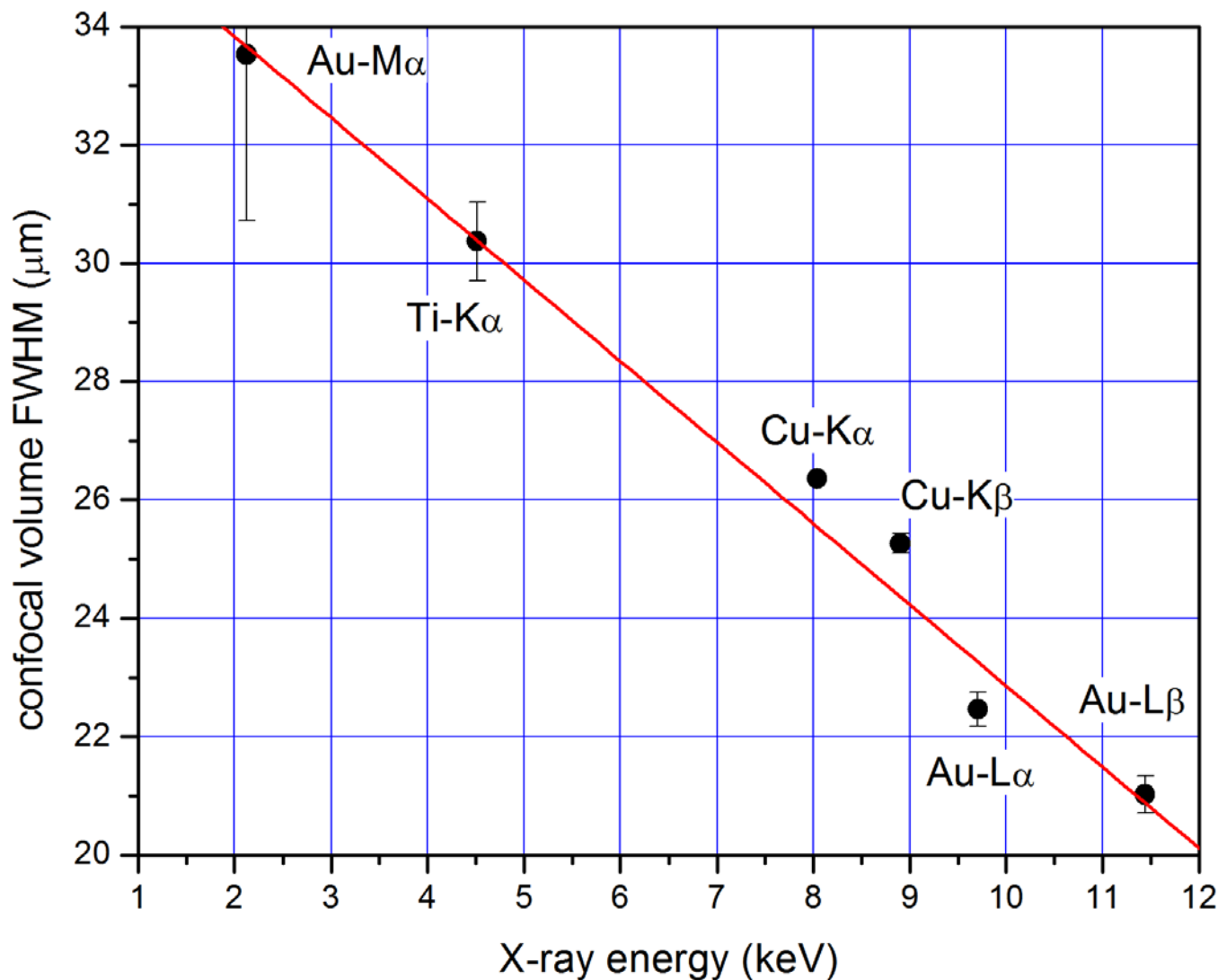
# Wzmocnienie natężenia wiązki w ognisku



# Rozmiar ogniska zależy od energii ogniskowanego promieniowania

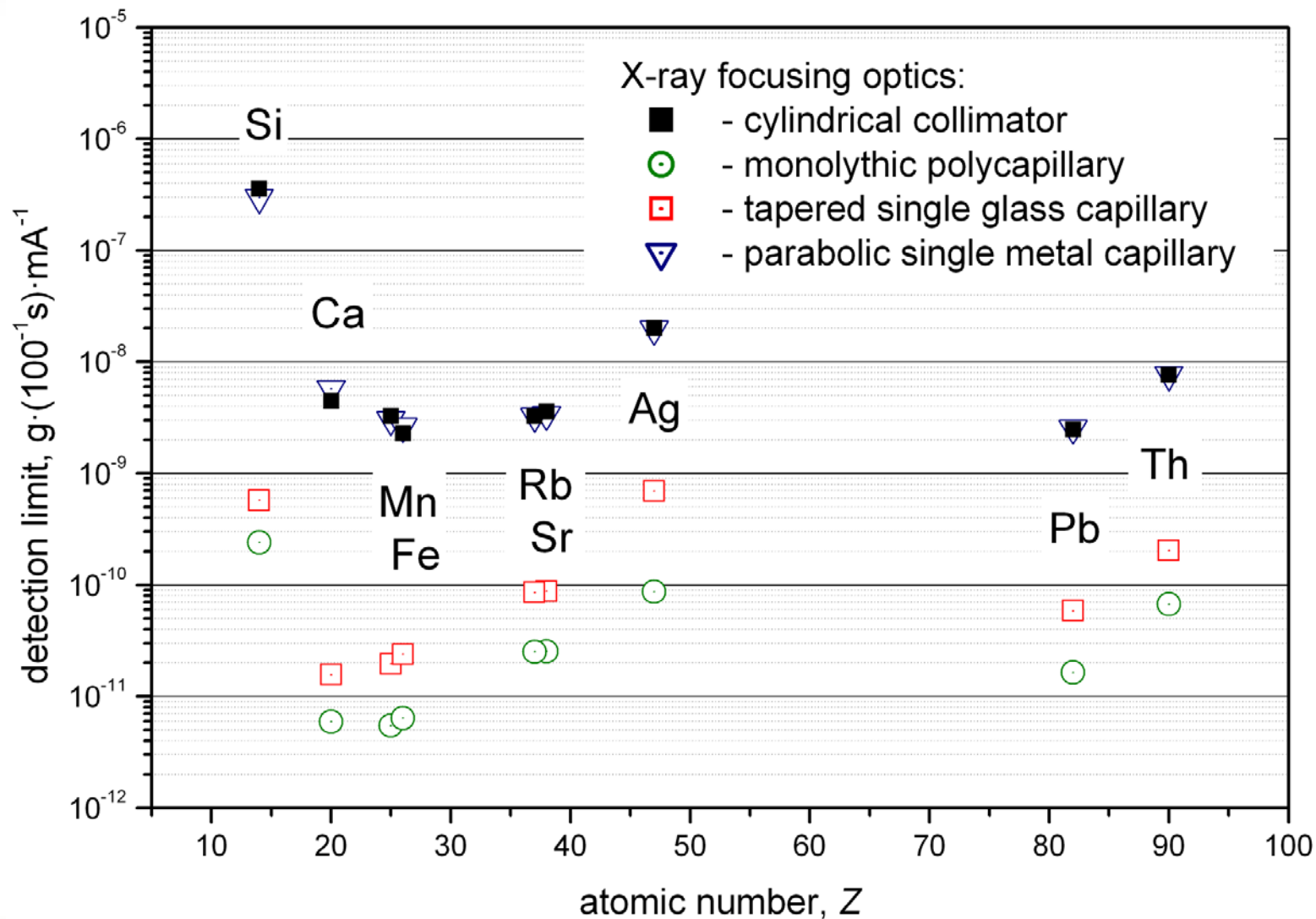


# Rozmiar ogniska w konfiguracji konfokalnej w funkcji energii

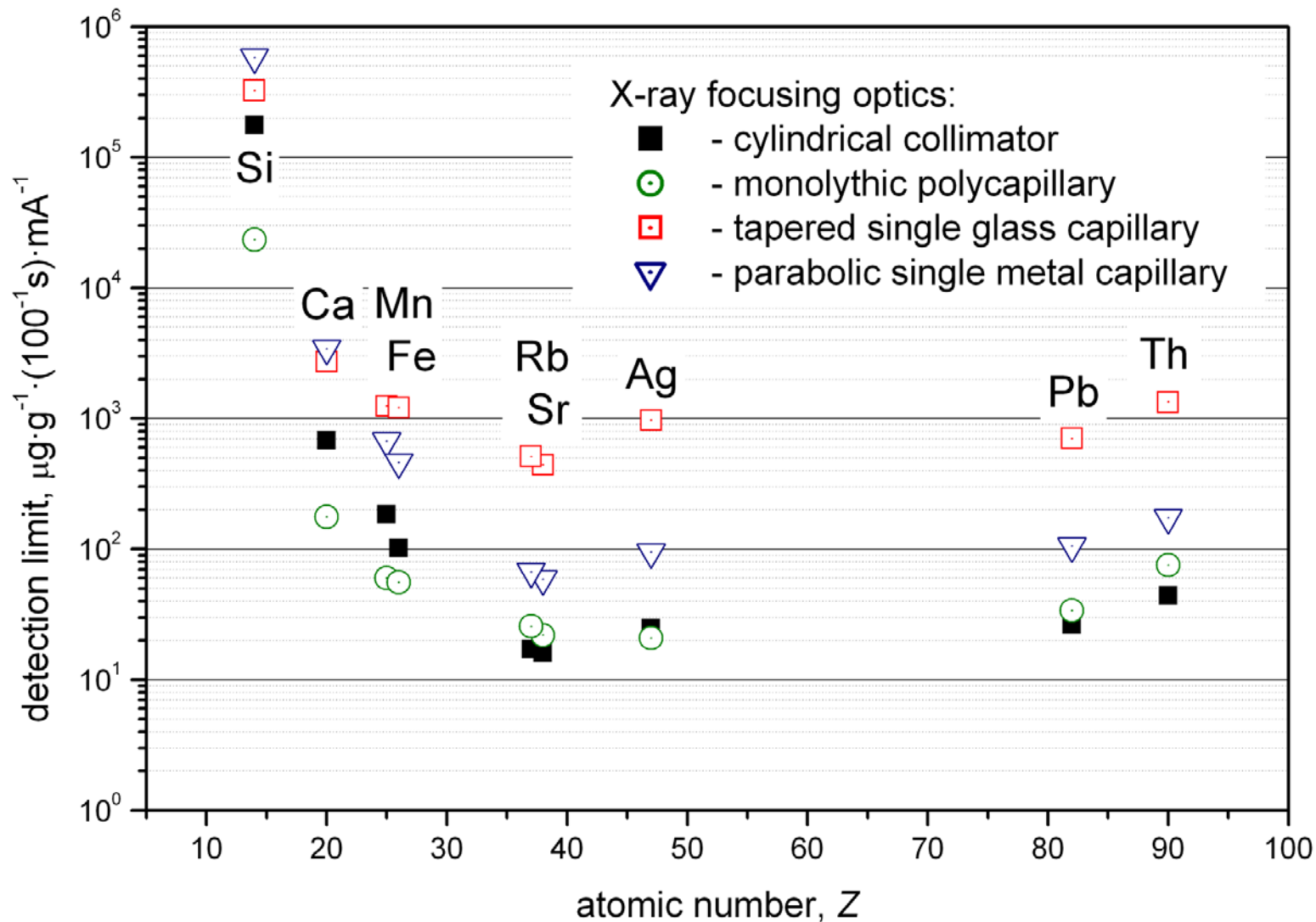




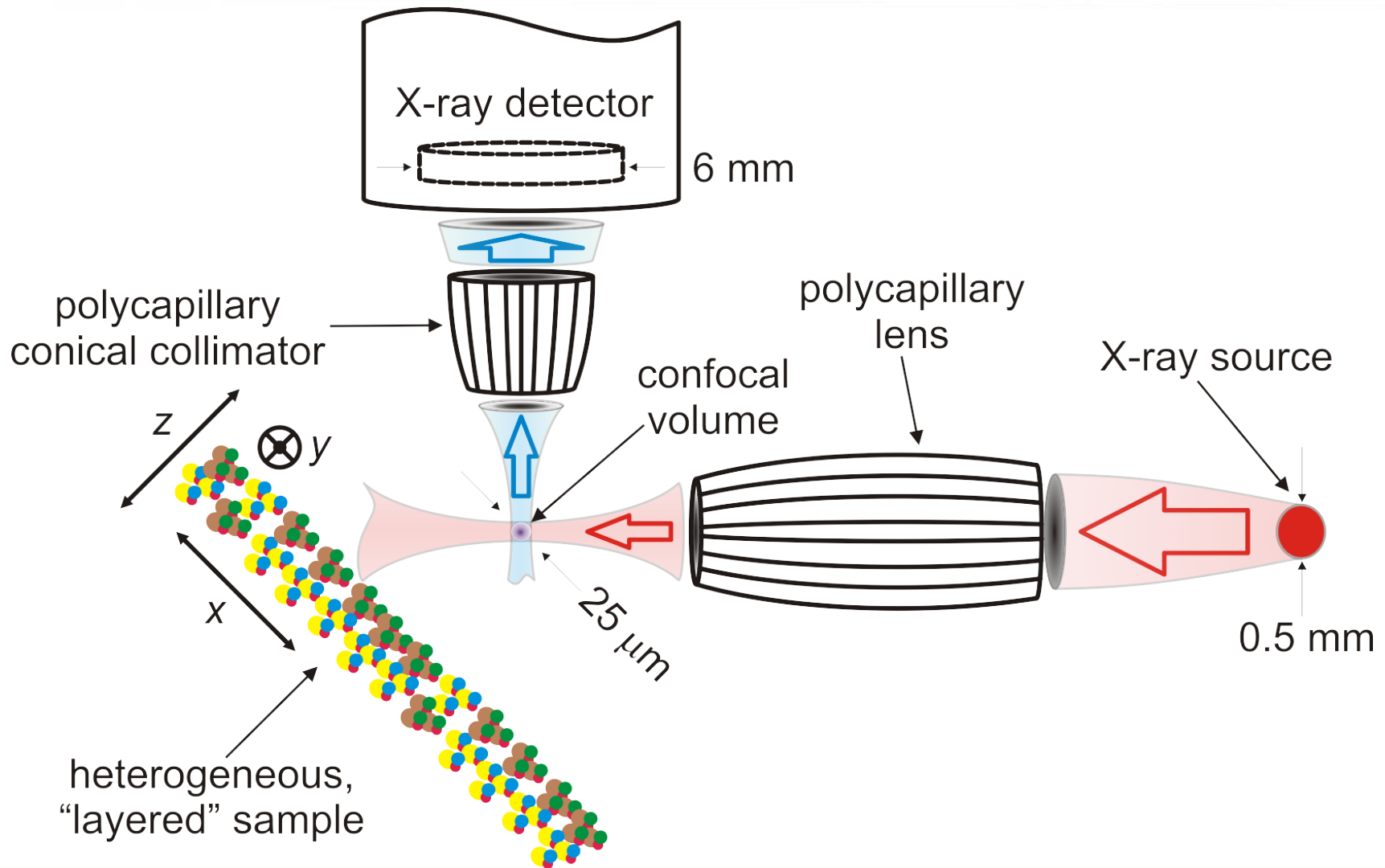
# Bezwzględne granice wykrywalności pierwiastków



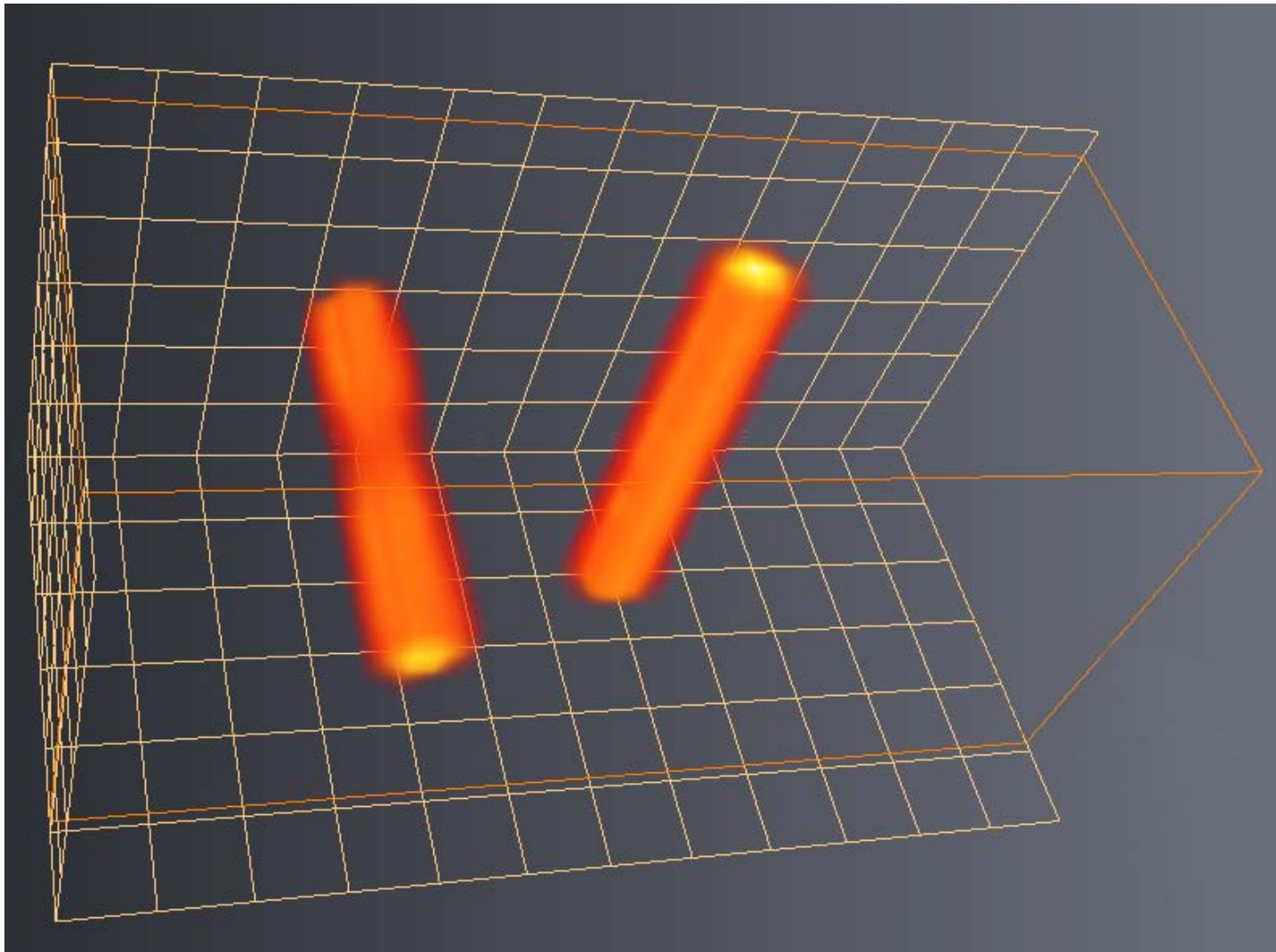
# Względne granice wykrywalności pierwiastków



# Rentgenowska mikroskopia konfokalna



# Przestrzenny rozkład pierwiastków

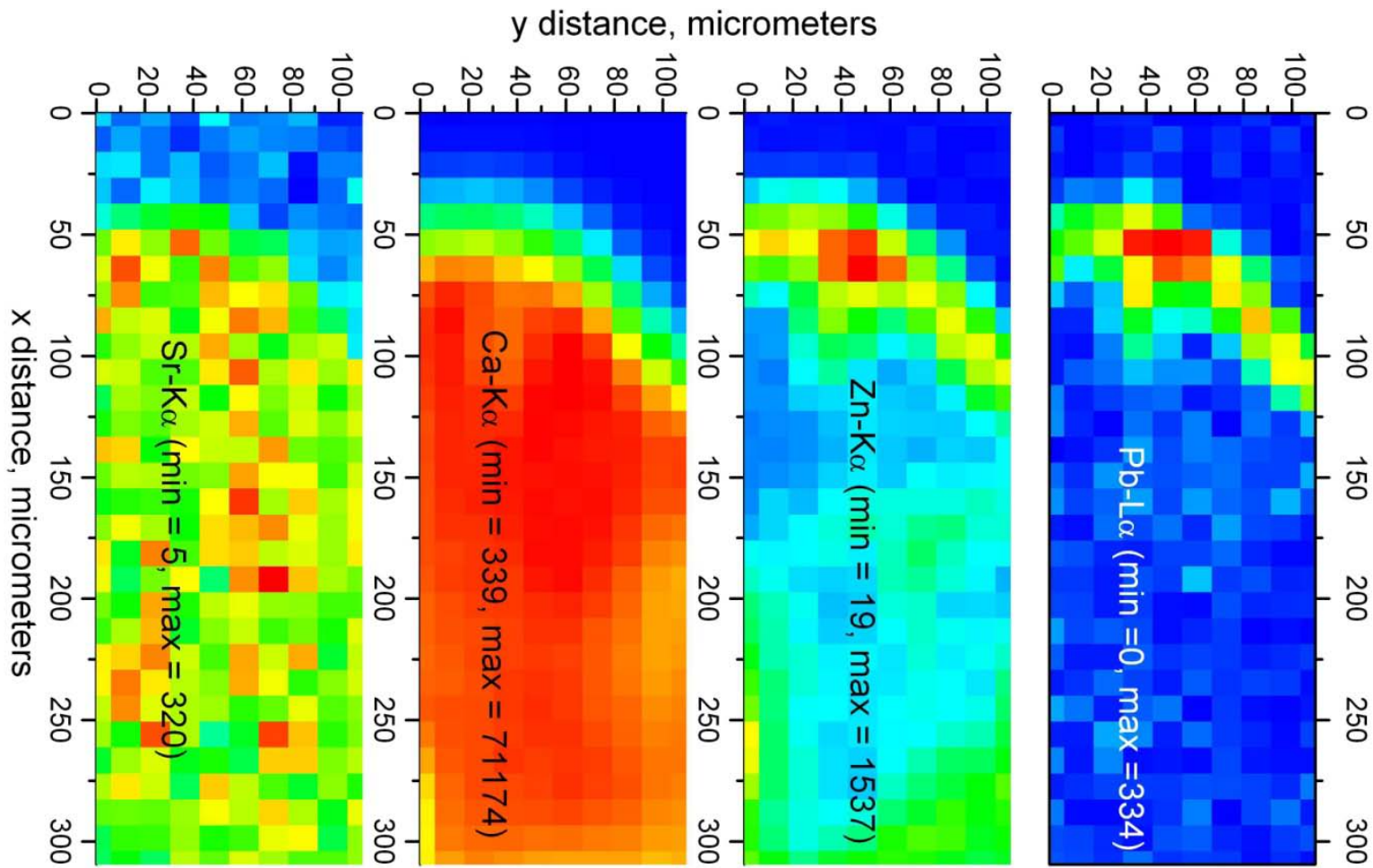


drut  
wolframowy,  
 $\varnothing 3 \mu\text{m}$

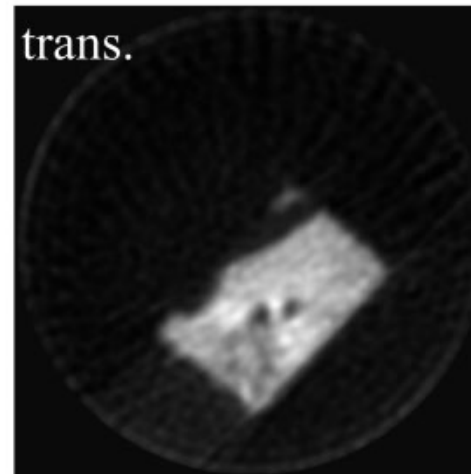
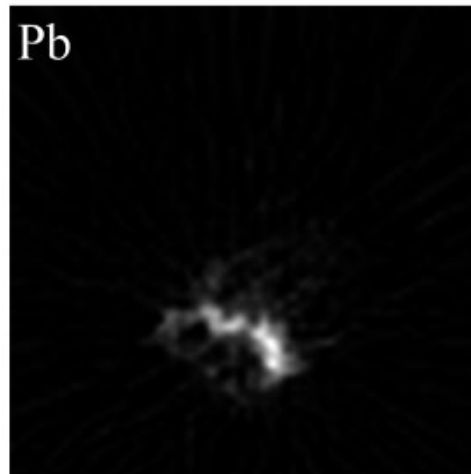
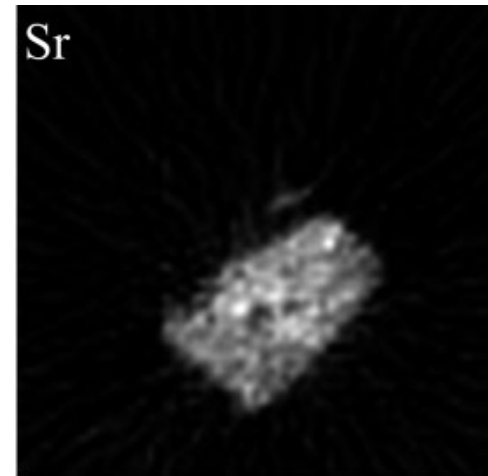
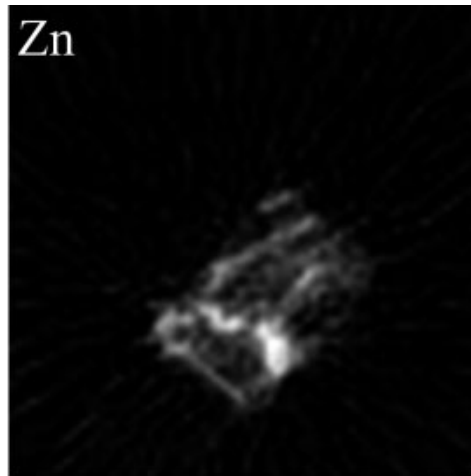
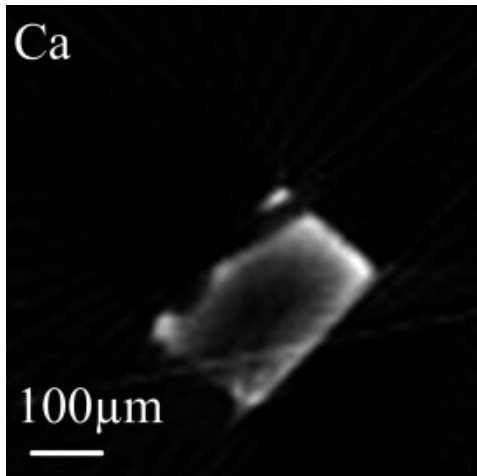
Siatka:  $25 \mu\text{m}$



# Umiejscowienie Pb w tkance kostnej



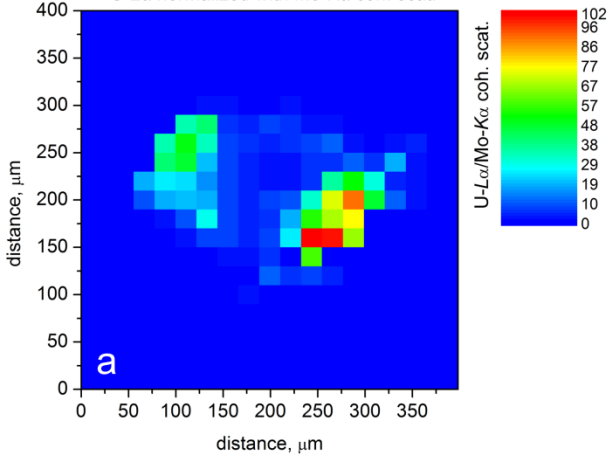
# Umiejscowienie Pb w tkance kostnej ( $\mu$ -XRF-CT)



# Transport uranu w roślinach

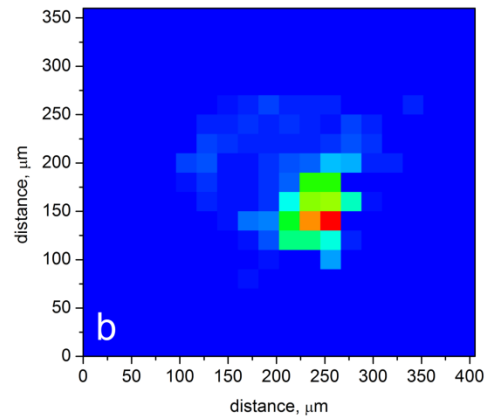


Indian mustard root, 1 cm from the root tip  
U- $L\alpha$  normalized with Mo- $K\alpha$  coh. scat.

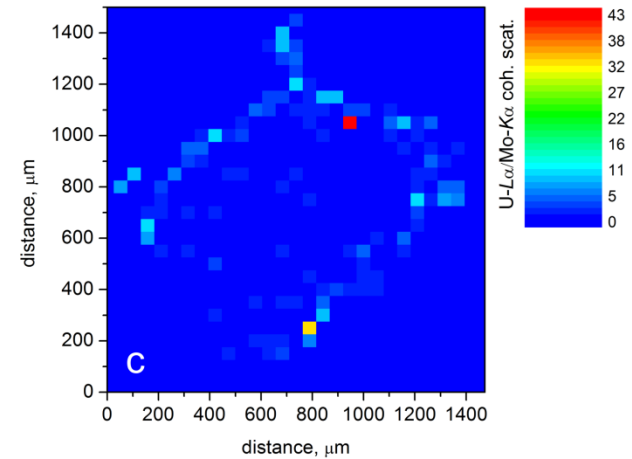


Indian mustard

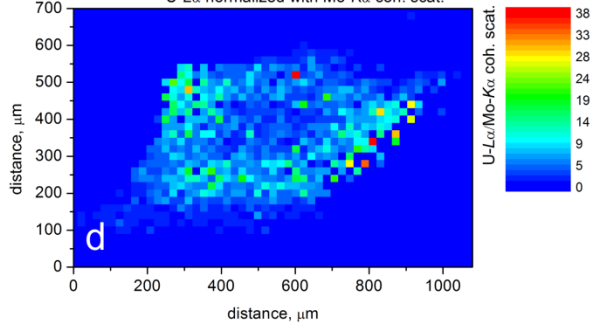
Indian mustard root, 2 cm from the root tip  
U- $L\alpha$  normalized with Mo- $K\alpha$  coh. scat.



Indian mustard root-stem interface  
U- $L\alpha$  normalized with Mo- $K\alpha$  coh. scat.

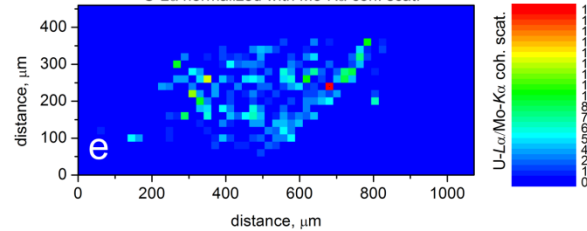


Maize root, 2 mm from the root tip  
U- $L\alpha$  normalized with Mo- $K\alpha$  coh. scat.

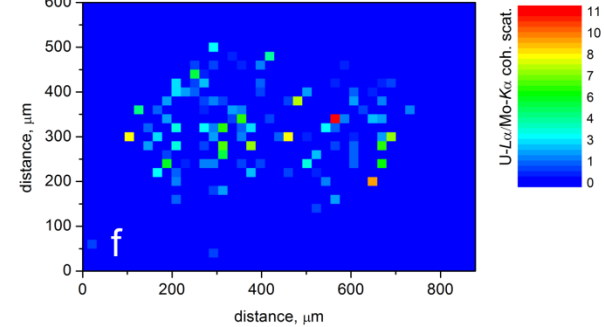


Maize

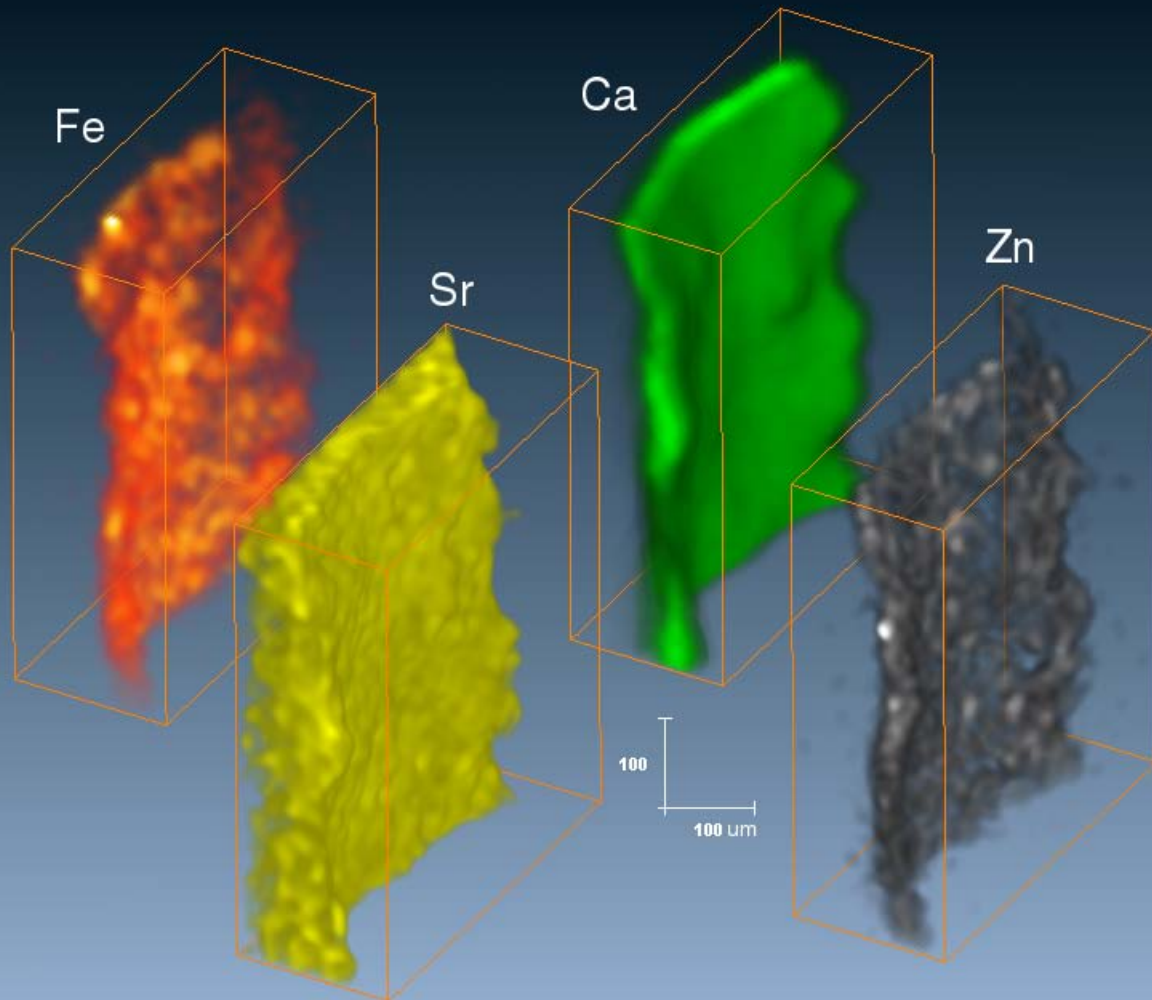
Maize root, 1 cm from the root tip  
U- $L\alpha$  normalized with Mo- $K\alpha$  coh. scat.



Maize root, 2 cm from the root tip  
U- $L\alpha$  normalized with Mo- $K\alpha$  coh. scat.



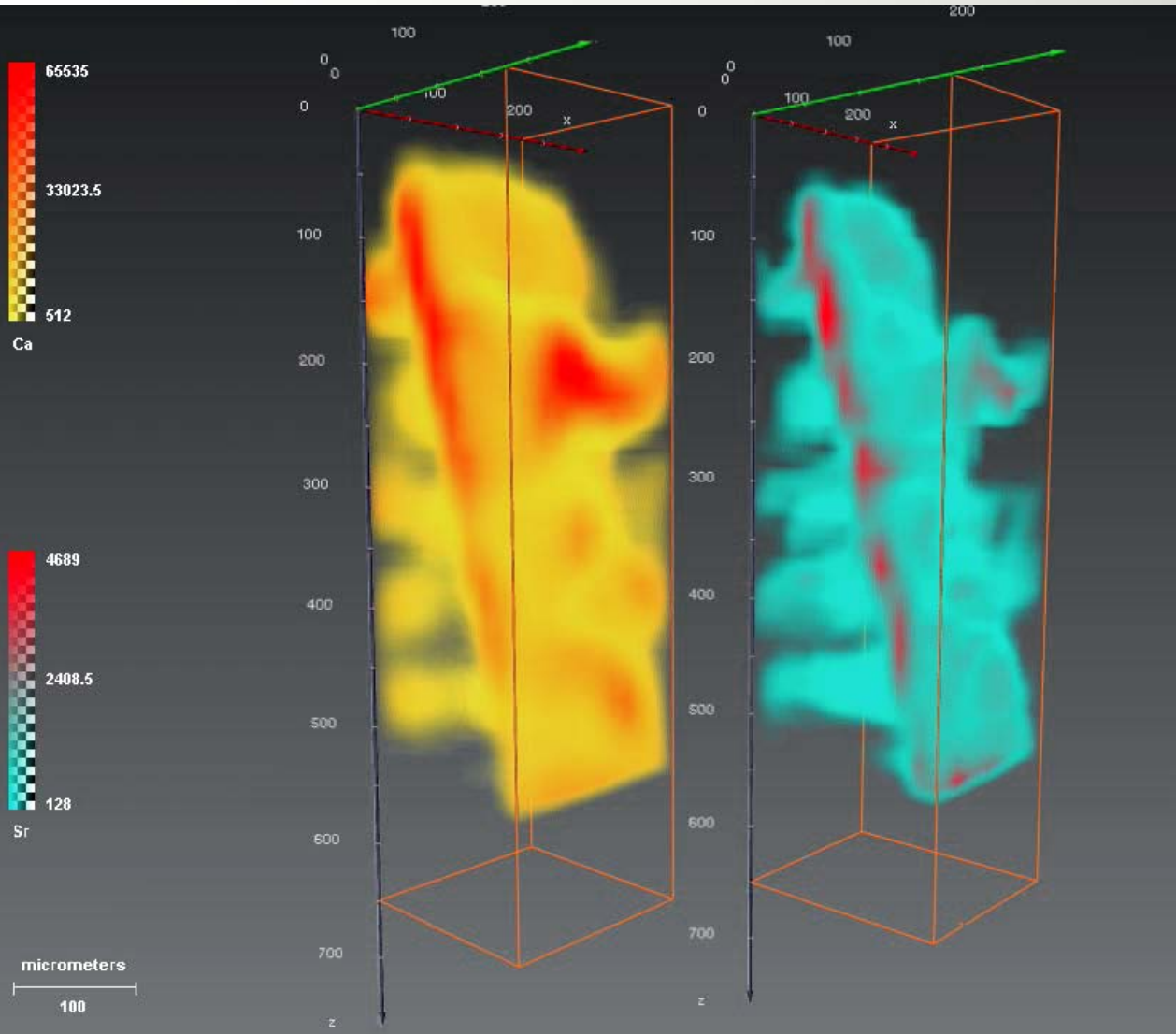
# Stosunek Sr/Ca w szkieletach koralowców, głowonogów



Fragment szkieletu koralowca, rozkład Fe, Zn, Sr, Ca

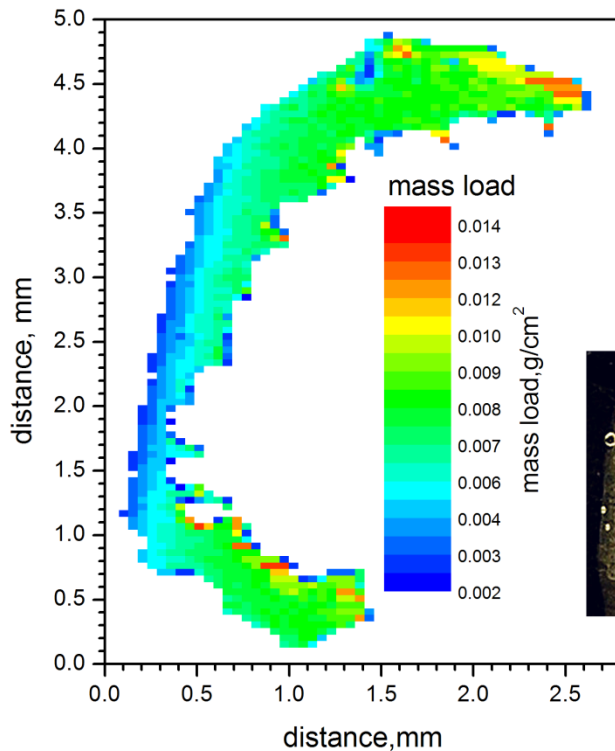


# Stosunek Sr/Ca w szkieletach koralowców, głowonogów

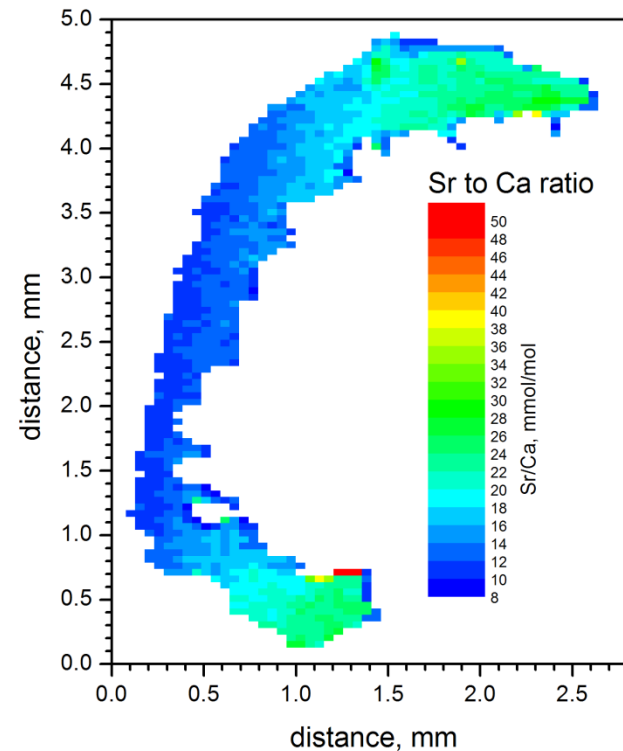


Fragment szkieletu  
głowonoga,  
rozkład Sr i Ca

# Ilościowe oznaczanie Sr/Ca w szkieletach koralowców

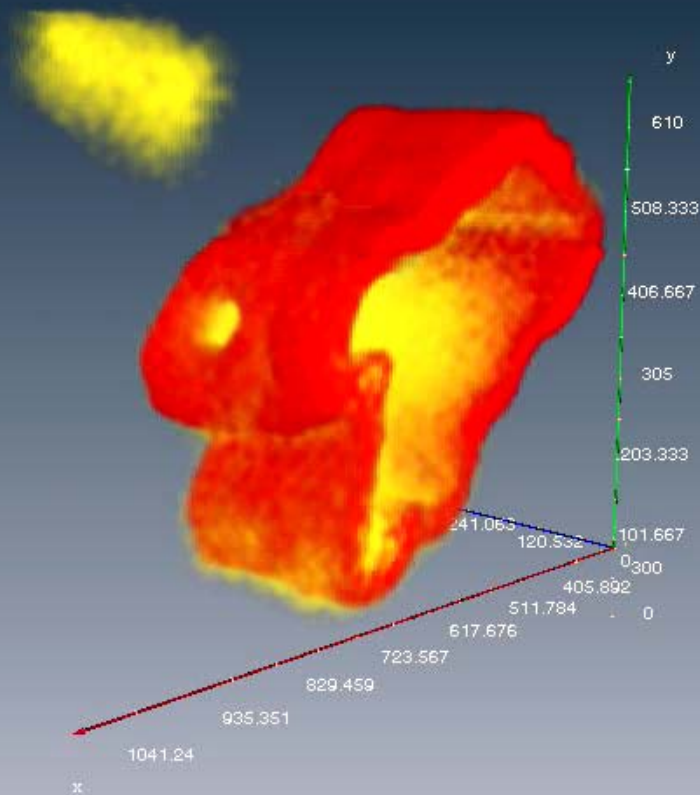


sample #1/mx00072  
(horizontal section)



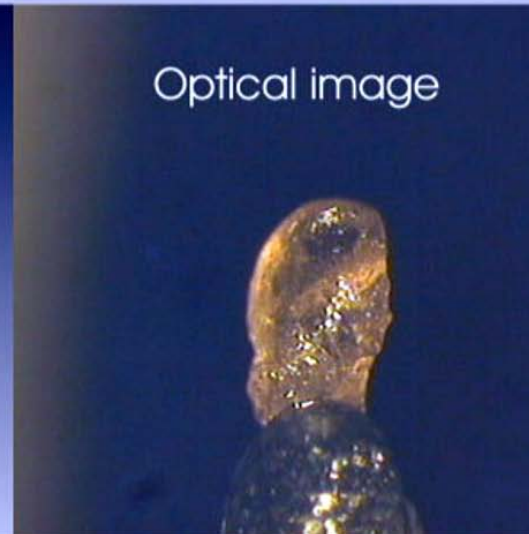
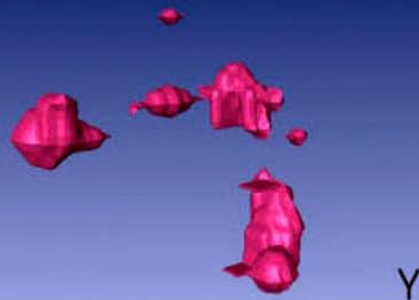
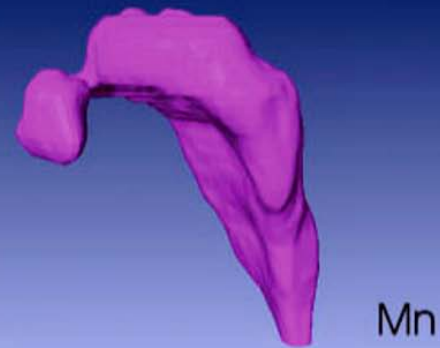
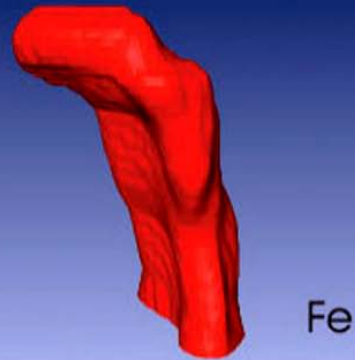
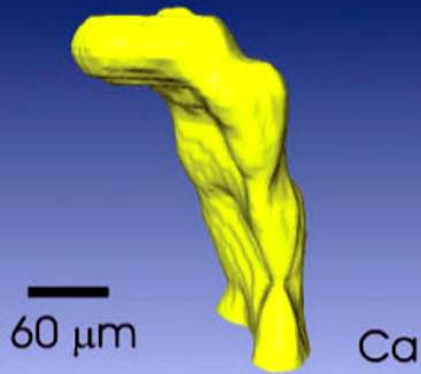
average ratio Sr/Ca = 17.3 mmol/mol  
average SrCO<sub>3</sub> concentration = 2.49%  
average mass load = 6.82x10<sup>-3</sup> g/cm<sup>2</sup>

# „Fe plaque” – korzenie ryżu



Rozkład  
Fe (czerwony),  
K (żółty) w korzeniu  
ryżu

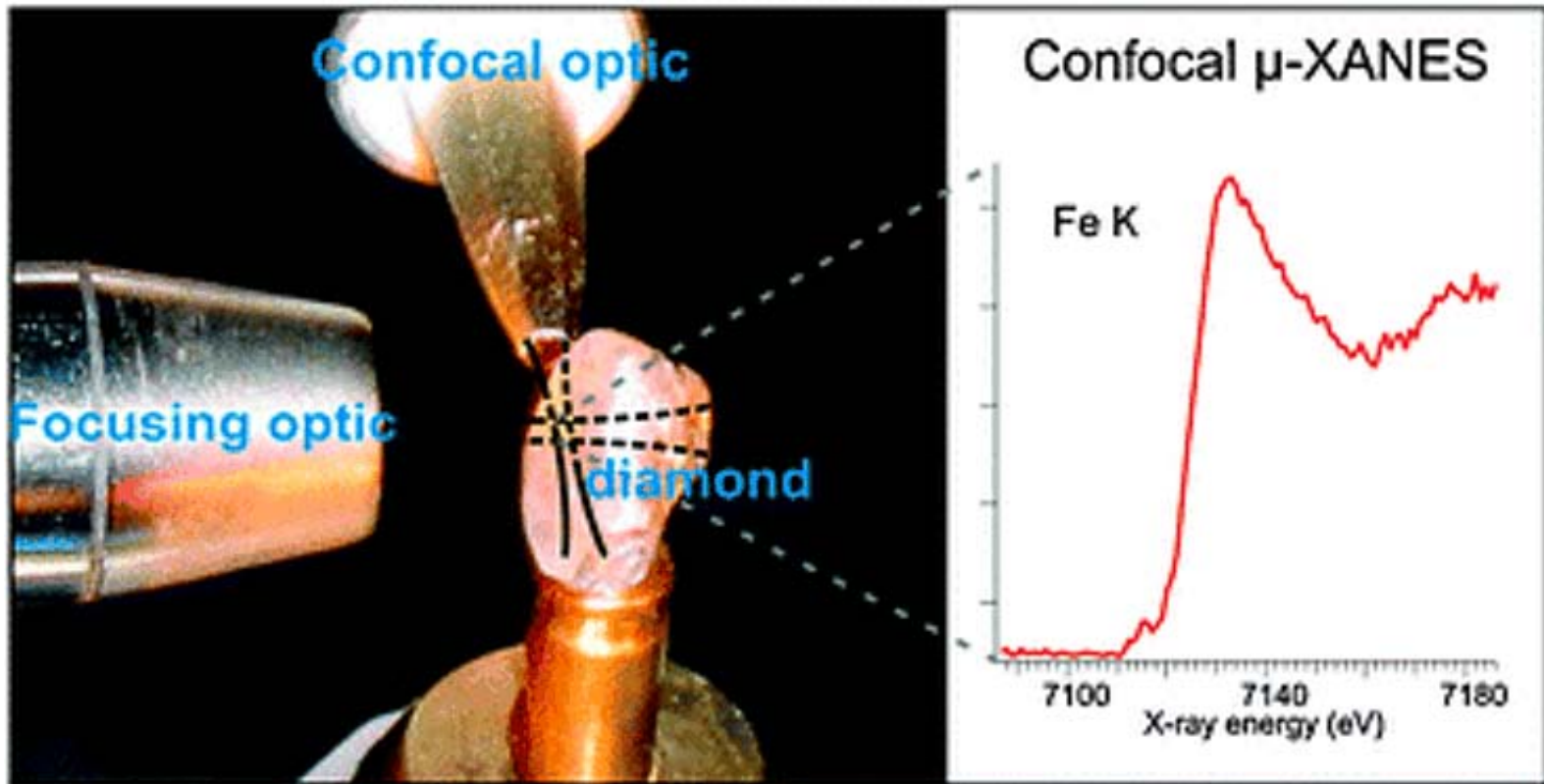
# Identyfikacja ziaren minerałów



Rozkład  
Ca, Fe, Mn,  
Zn i Y w  
ziarnie  
granatu

# Konfokalna mikroskopia rentgenowska – inne konfiguracje

Confocal 3-D micro-XANES (x-ray absorption near edge structure)



(G. Silversmit, B. Vekemans, S. Nikitenko, S. Schmitz, T. Schoonjans, F.E. Brenker  
L. Vincze, Journal of Physics: Conference Series 190, 2009, 012036)



# Podsumowanie

Konfokalna mikroskopia rentgenowska – umożliwia uzyskanie przestrzennego obrazu (3-D) rozmieszczenia pierwiastków w próbce ze zdolnością rozdzielczą rzędu  $10\ \mu\text{m}$

Analiza „przypowierzchniowa” ograniczona głębokością penetracji promieniowania do kilkudziesięciu, kilkuset mikrometrów, w zależności od składu matrycy próbki

Brak algorytmów analizy ilościowej (oznaczania stężeń pierwiastków), pierwsze kroki poczynione w ostatnich kilku latach

Geometria konfokalna jest także stosowana w połączeniu z innymi technikami wykorzystującymi zogniskowane wiązki promieniowania X ( $\mu\text{-XAS}$ ,  $\mu\text{-XAS}$ )