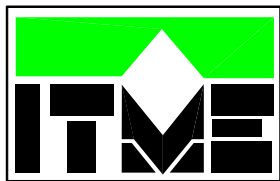


Mikroanaliza jądrowa staroegipskich malowideł ściennych

Andrzej Turowski



**Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych
Warszawa**

i

**Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana
Świerk/Otwock**



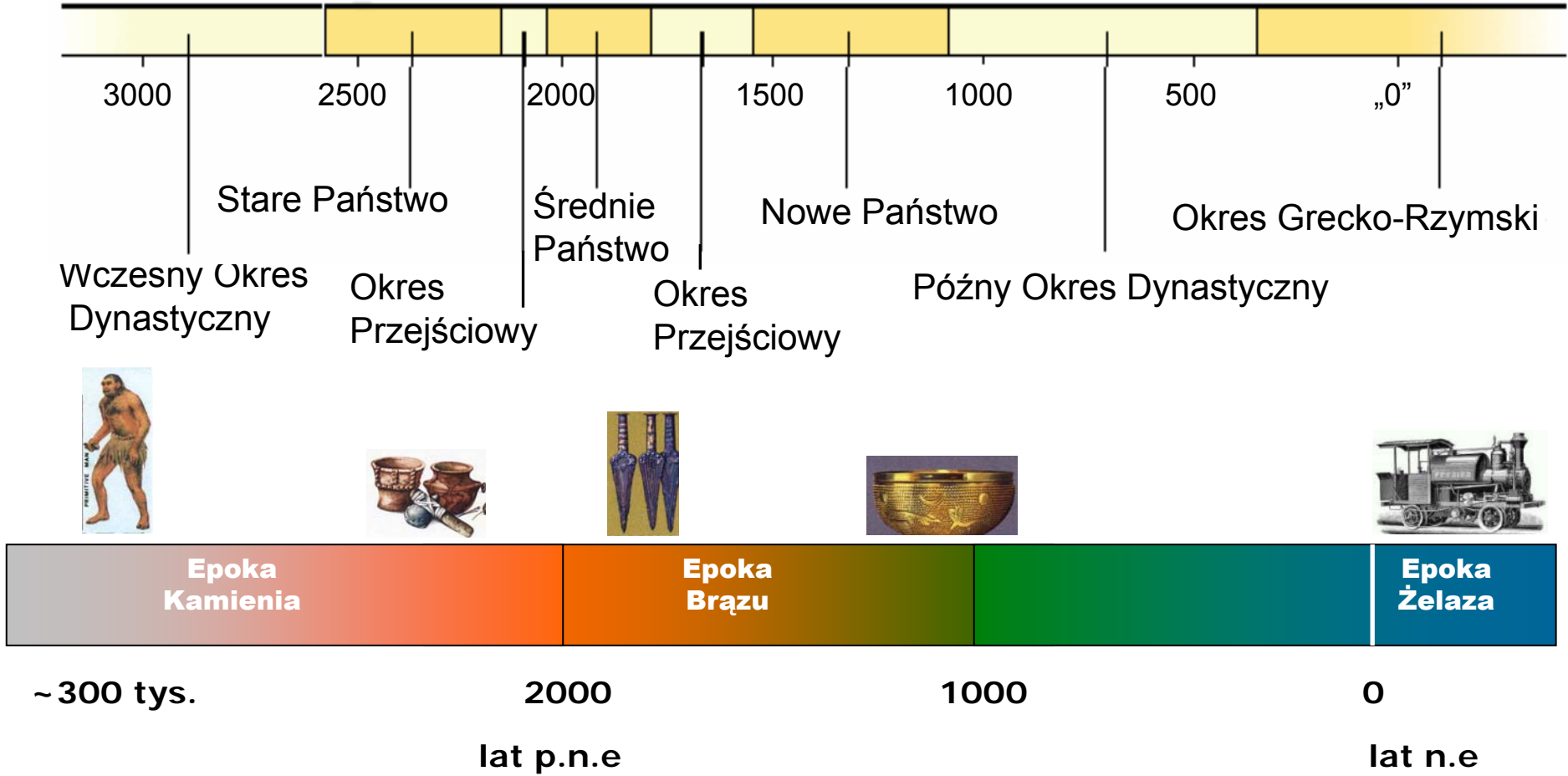
Warszawa, 29 kwietnia 2009

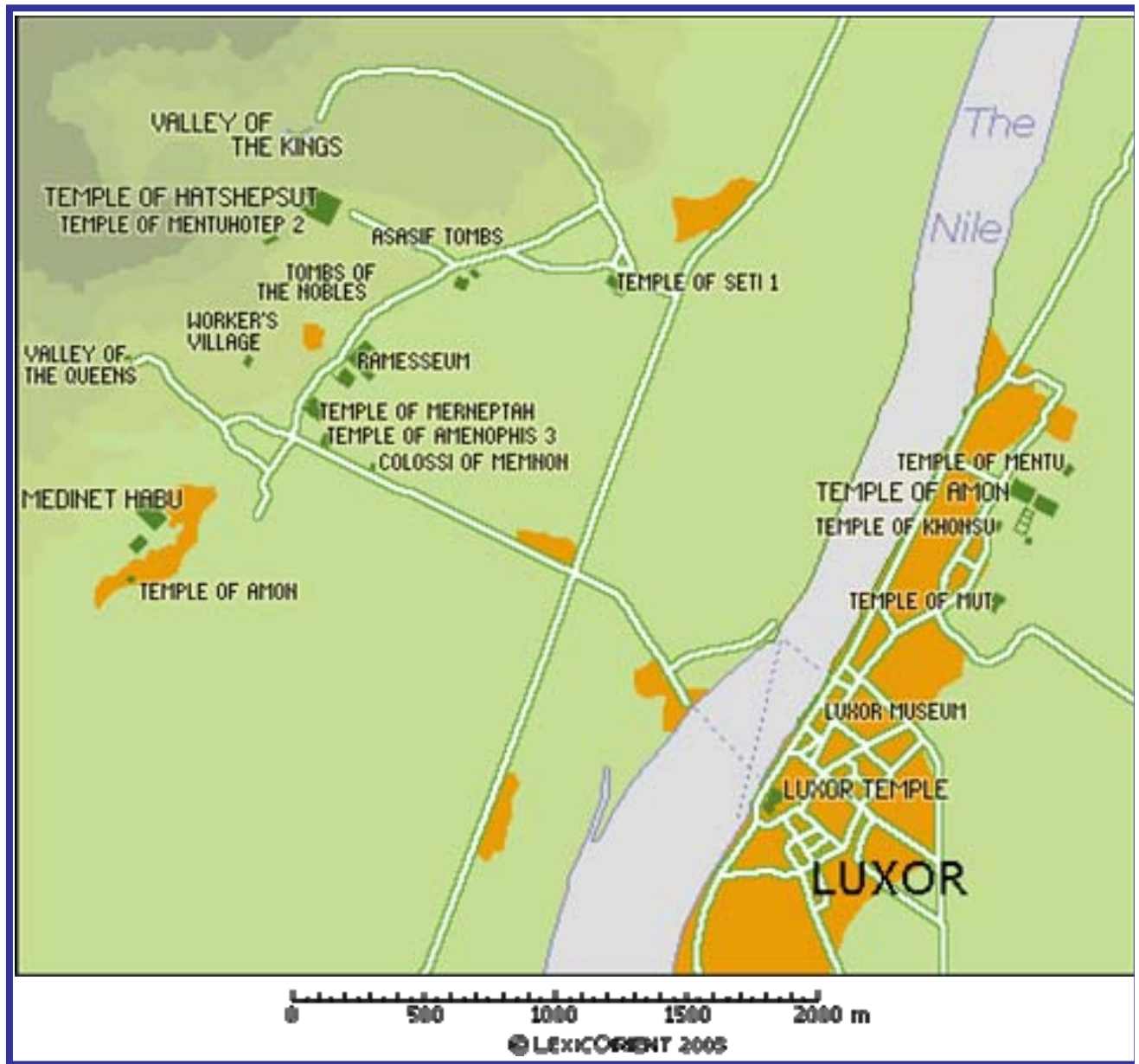
Egypt





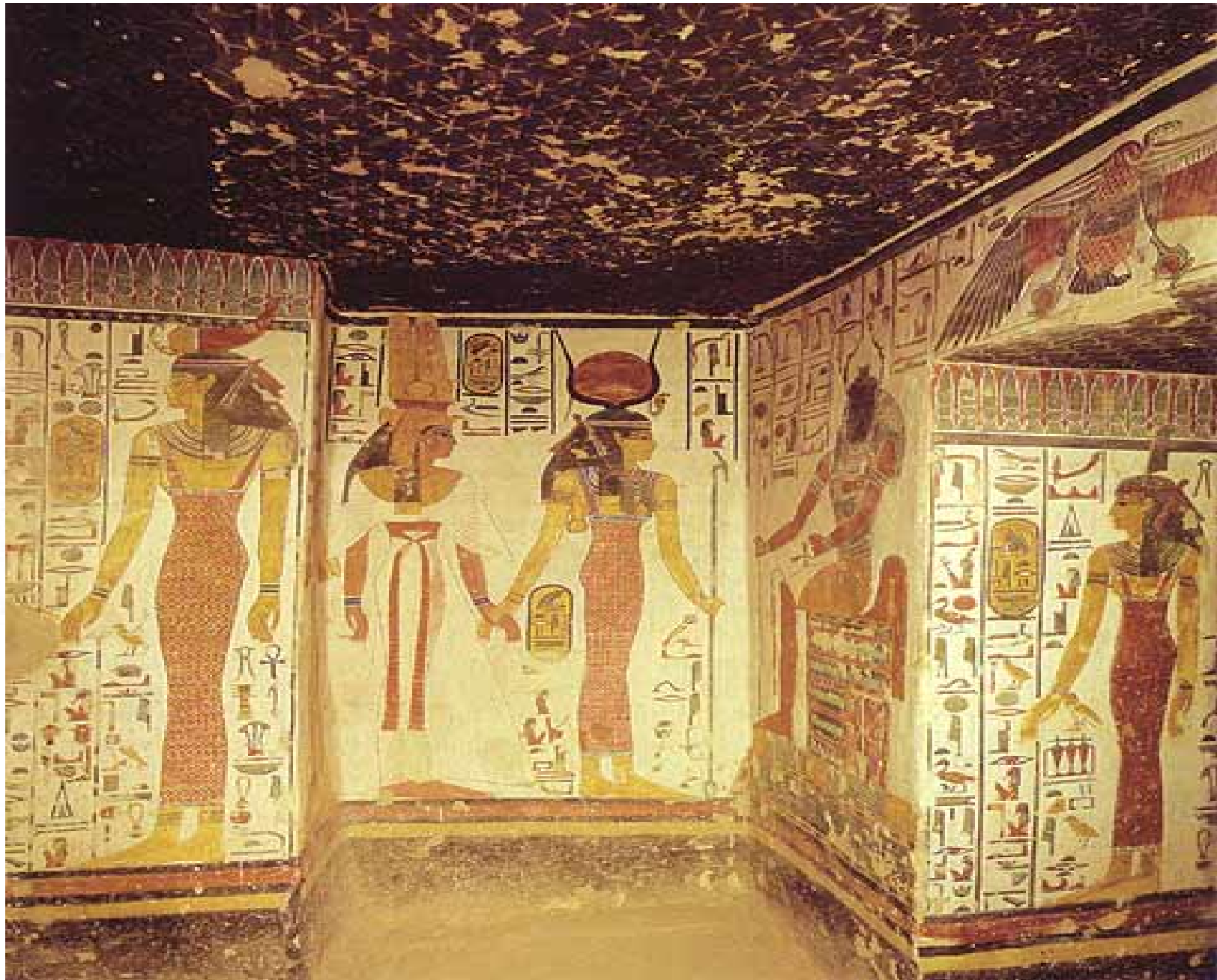
Historia starożytnego Egiptu

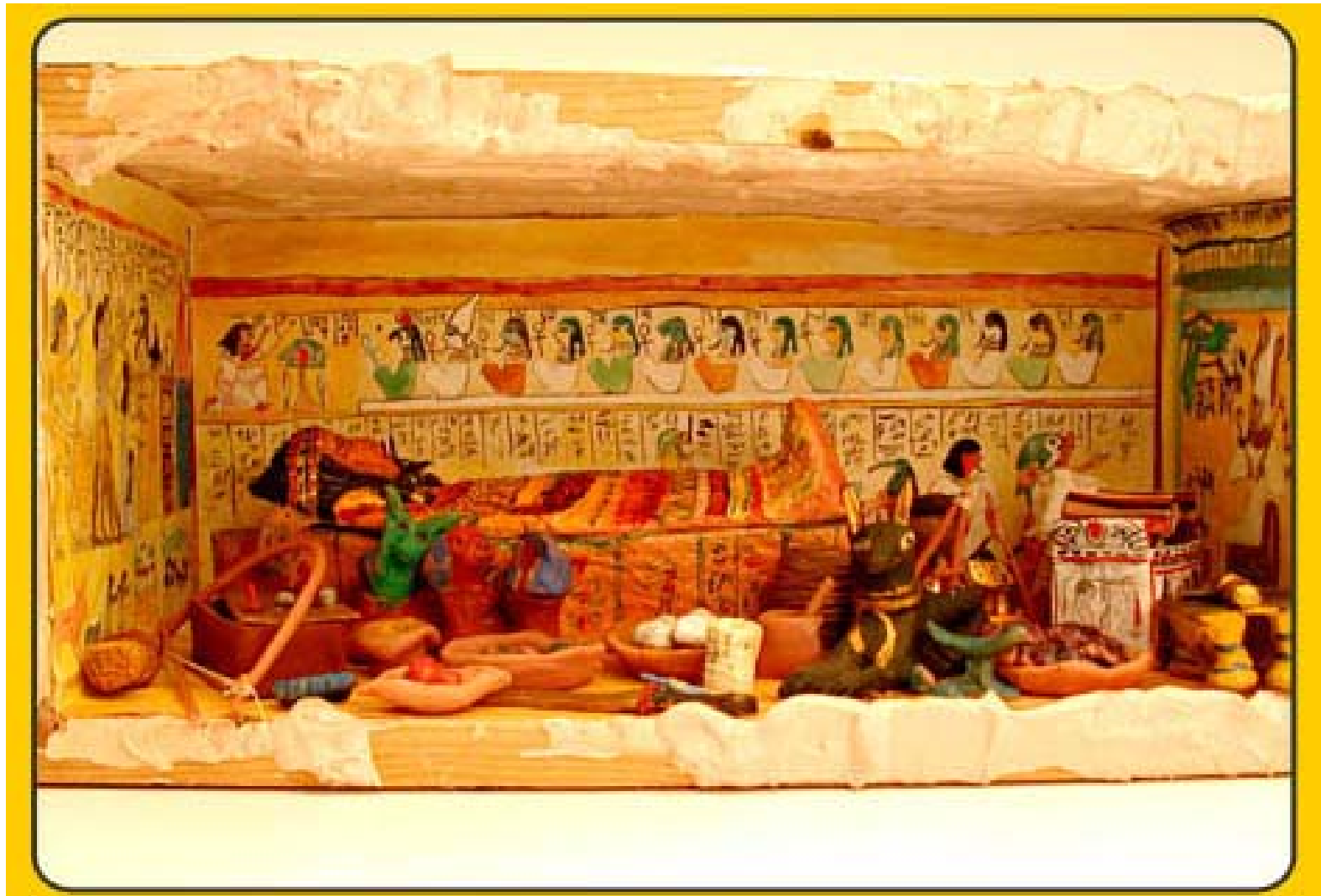




Dolina Królowych











Photograph by Kenneth Garrett
© 2003 National Geographic Society. All rights reserved.

National Geographic's *Treasures of Egypt*
Collector's Edition Vol. V





Amenhotep III i Teje
XVIII dynastia, panował około: **1388-1351 p.n.e.**,

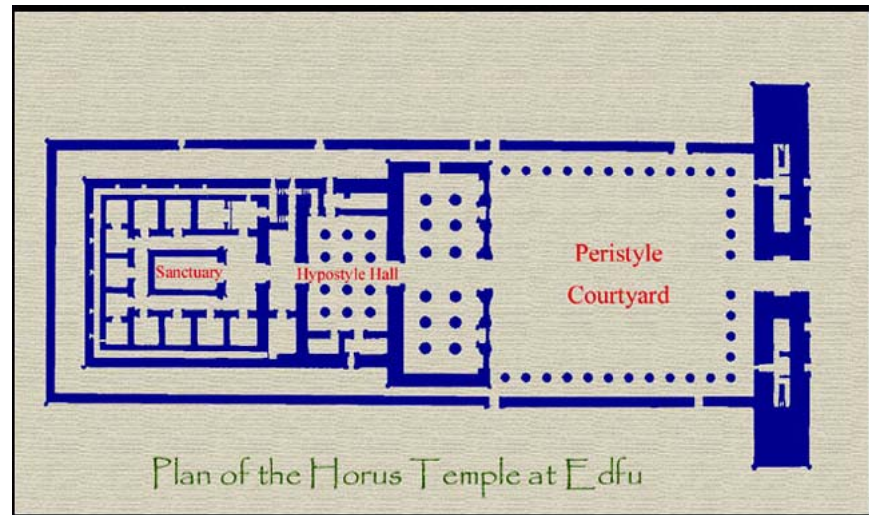


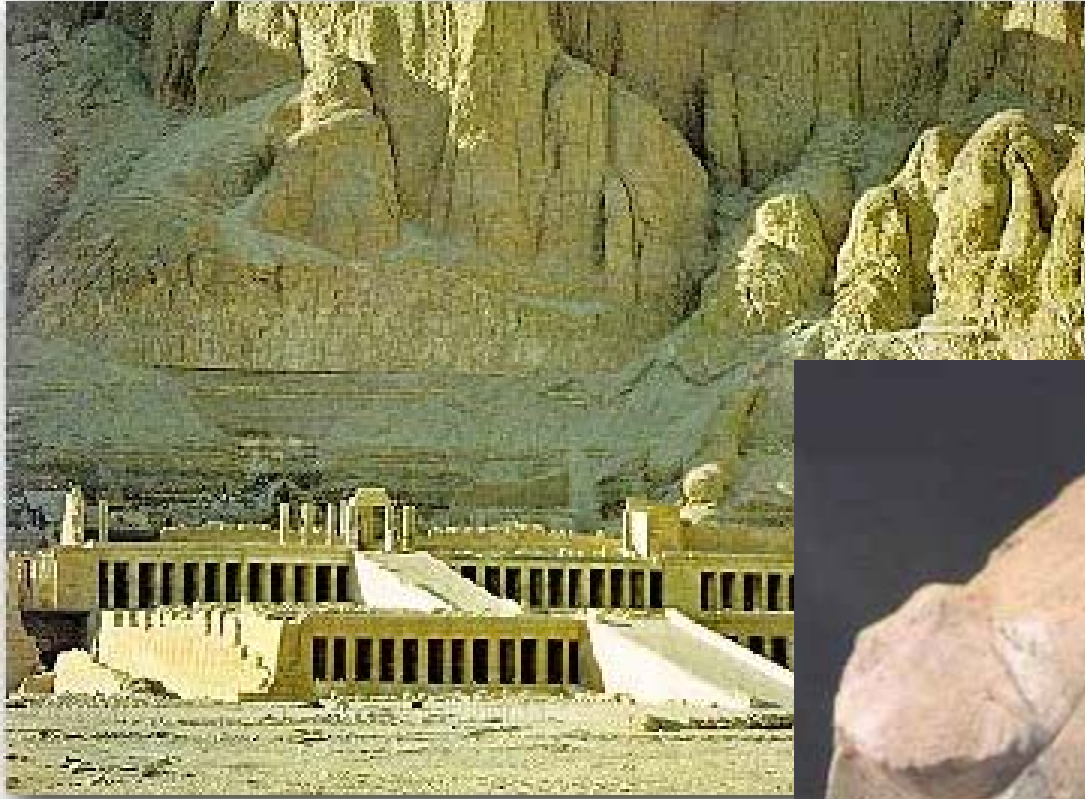




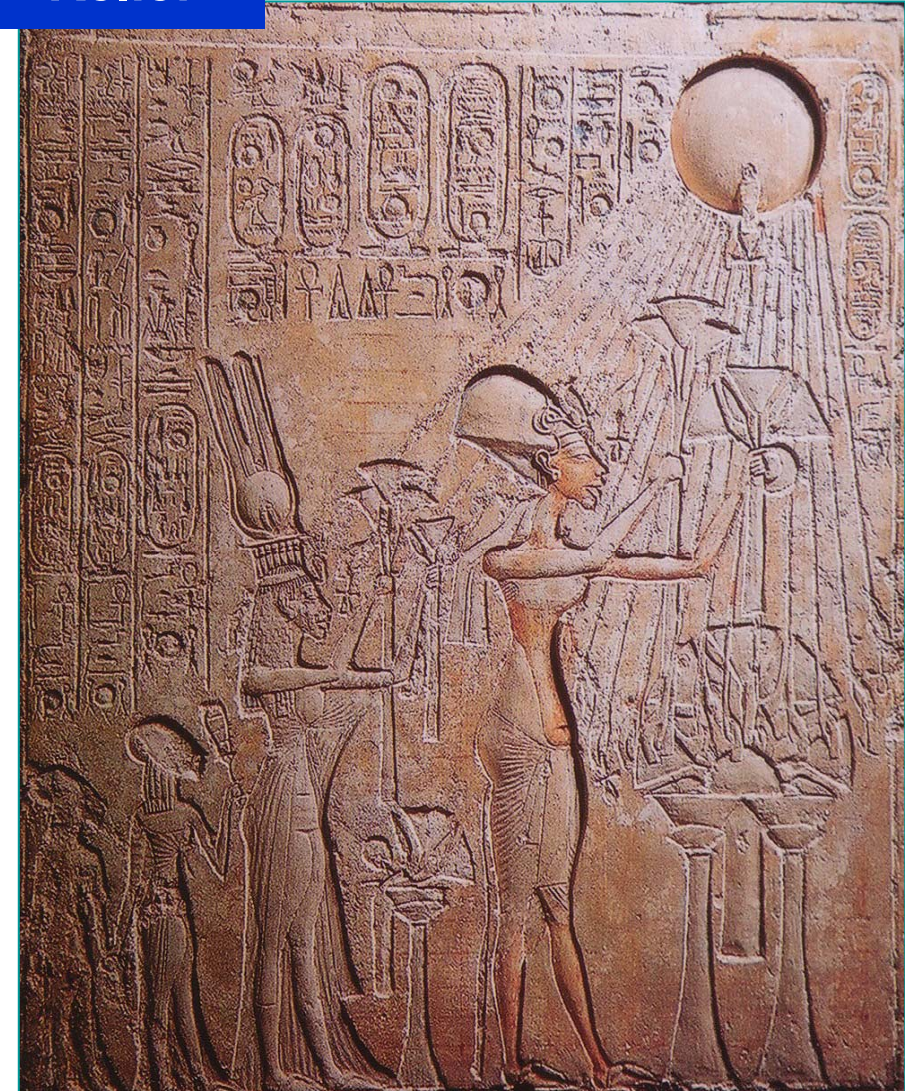








Relief



(شكل ٣)

أسلوب النقش البارز ذو الحافة المسلوطة.



(شكل ٢)

أسلوب النقش البارز ذو الحافة العالية.

- Bas - relief
- Sunk - relief
- Bas & sunk - relief



(شكل ٧)

أسلوب النقش الغائر ذو المستويات المتعددة.



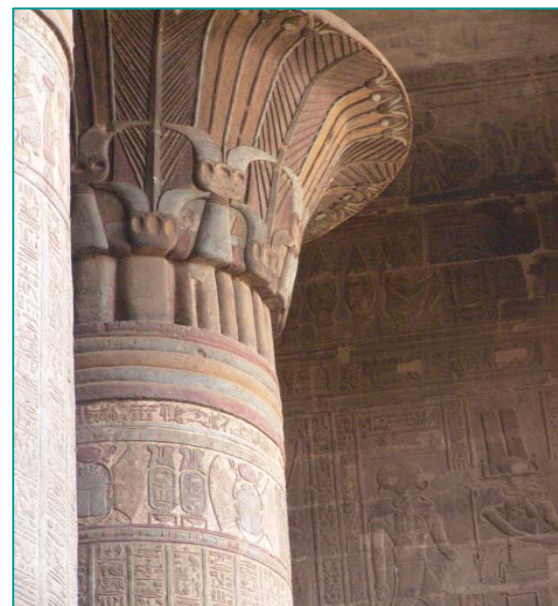
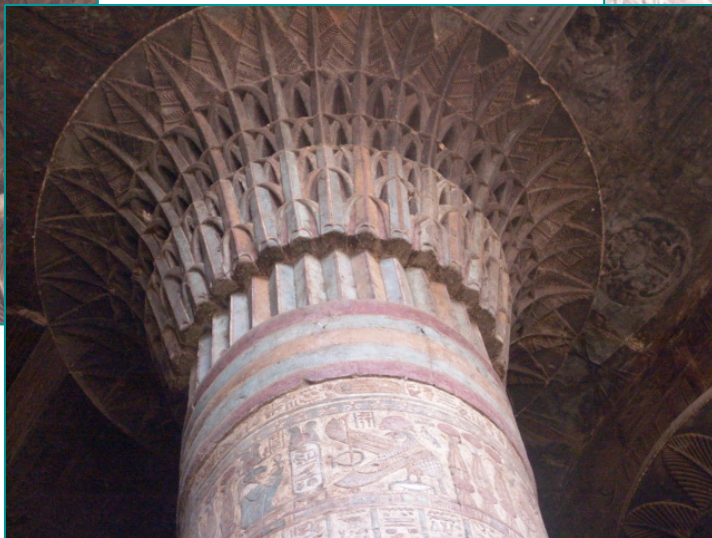
(شكل ٦)

أسلوب النقش للغائر ذو الحافة للمائلة.

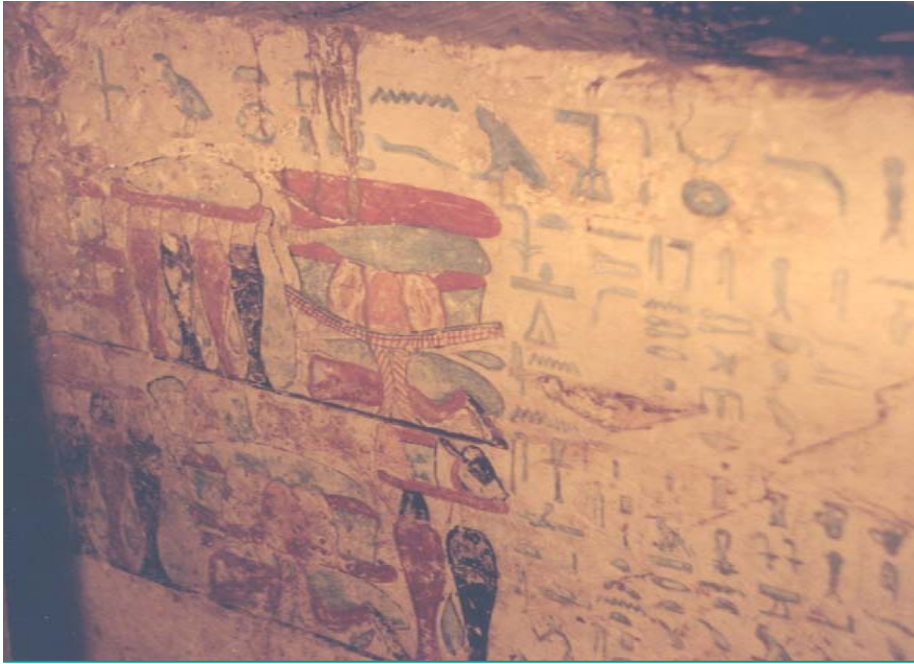
Różne rodzaje reliefu



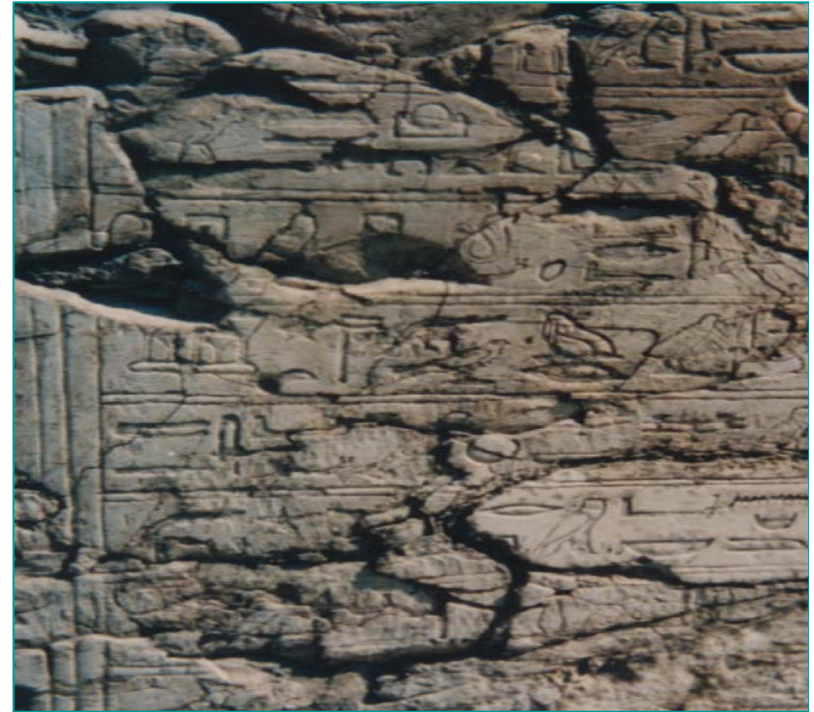
Różne rodzaje reliefu







- Rains with Dust and clay



Humidity



❖ **Hard crust & Micro cracks**



Salt



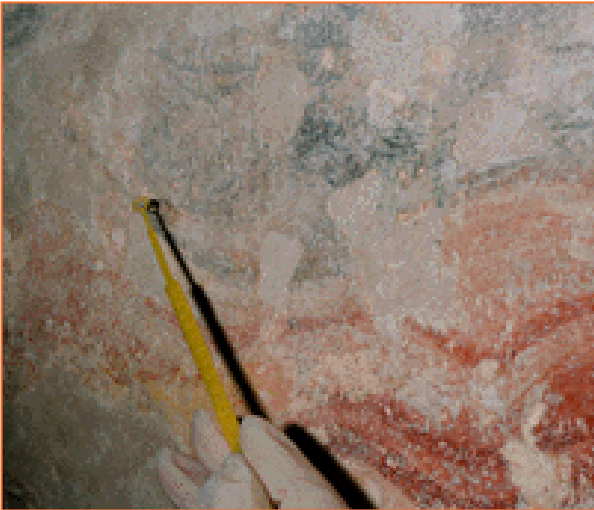


Bats droppings



Insects

Fungal spots



Human factors (Vandalism)



Human factors (Tourisms)



Struktura staroegipskich malowideł ściennych

1. Baza

Ściana (wapień, piaskowiec, cegła)

2. Grunt

a) Warstwa gruboziarnista

(Piasek, gips)

b) Warstwa drobnoziarnista

(Piasek, gips)

3. Tynk

(gips)

4. Farba



Przekrój malowidła ściennego

Co to jest farba?

Farba jest

1) mieszaniną pigmentu i spoiwa

lub

2) roztworem barwnika i spoiwa

Starożytni Egipcjanie stosowali głównie 1) rodzaj farb wykorzystując naturalne lub syntetyczne pigmenty

Techniki malarskie

Tempera – malowanie farbą zawierającą pigment lub barwnik ze spoiwem organicznym. Maluje się na suchym podłożu (*wł. al secco*).

Fresk (*wł. al fresco*) - malowanie farbą będącą wodną zawiesiną/roztworem pigmentu/barwnika. Maluje się na mokrym podłożu.

Spoiwem jest podłoże: *warstwa gładka do malowania*. Zawiera ona wapno gaszone, drobny piasek cedzony lub pył marmurowy. Na tej warstwie zaczyna się malować *fresk*. Ponieważ wapno gaszone z dwutlenkiem węgla tworzy krystaliczny węglan wapnia, który trwale wiąże cząsteczki farby. Fresk jest trwały bo spaja się z podłożem, w ten sposób uzyskuje się trwałe, intensywne barwy.

Jak przygotowano farbę



Moździerz

Jako spoiwa używano materiałów organicznych takich jak: guma arabska, kleje zwierzęce czy żółtko



Guma arabska

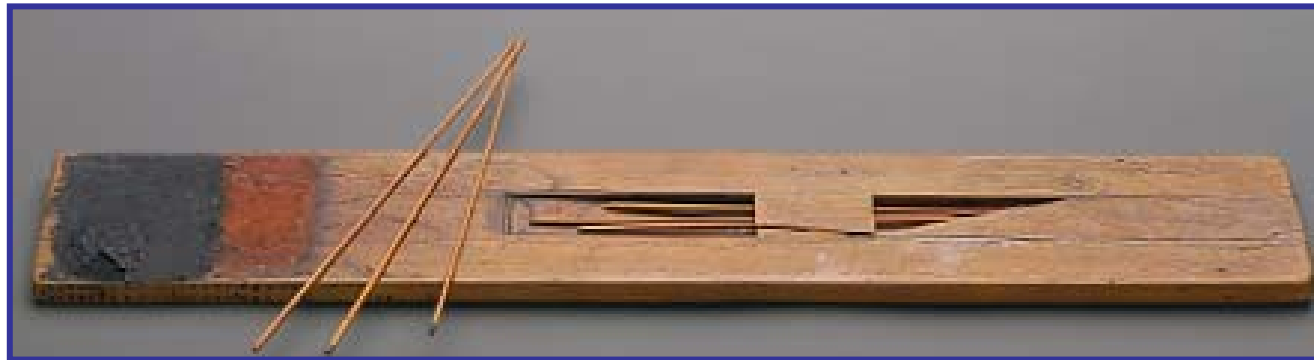


Klej zwierzęcy



Żółtko

Jak przygotowywano farbę



Starożytna paleta i pędzle

Starożytne pigmenty egipskie

(1) Pigmenty Naturalne

(a) Nieorganiczne
Minerały

Pigmenty czerwone : Hematyt, Fe_2O_3



Pigmenty żółte: Getyt FeOOH

Pigmenty niebieskie : Azuryt $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$

Pigmenty zielone: Malachit, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$



(b) Pigmenty organiczne

Sadza

Palone kości



Starożytne pigmenty egipskie

(2) Pigmenty Syntetyczne

Błękit egipski

Błękit Egipski to najstarszy ze znanych pigmentów syntetycznych
(ok. 2500 BC!)

$\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ - krzemian wapniowo miedziowy - kuproriwaityt

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - uwodniony węglan sodu



Otrzymuje się ziarna szklistej substancji

Uwaga! Jeśli temperatura podczas syntezy wzrośnie powyżej 1000°C zachodzi przemiana strukturalna i powstaje jasno zielony wollastonit.

**Po co są używane techniki analityczne
do identyfikacji pigmentów?**

Fingerprints!

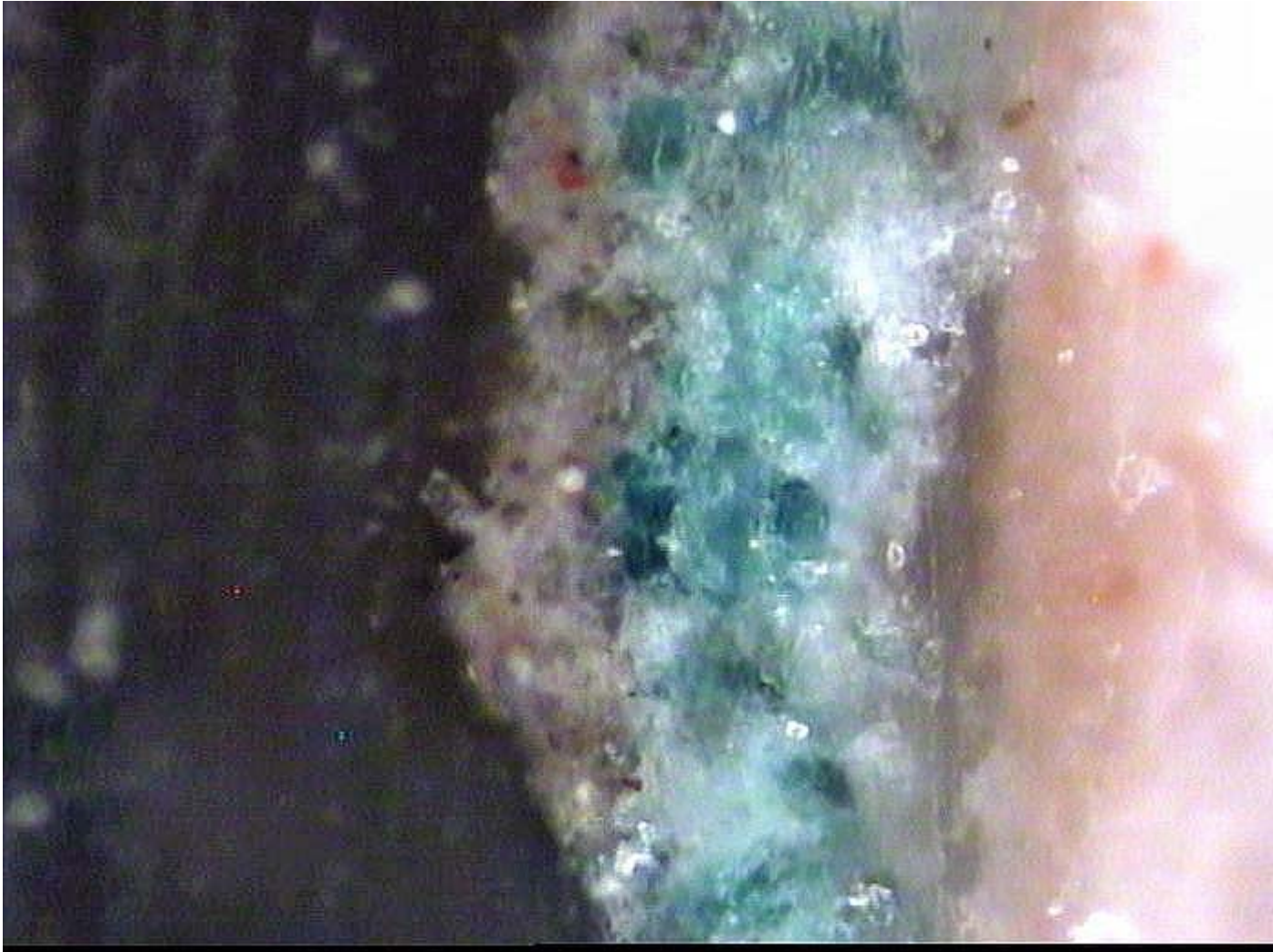
Typowe metody analityczne

1. Mikroskopia optyczna (OM) – ITME, FZD
2. Mikroanaliza Jądrowa
 - 2.1. Rutherford Backscattering Spectroscopy (RBS)
 - 2.2. Nuclear Reaction Analysis (NRA)
 - 2.3. Proton-Induced X-Ray Emission (PIXE) – IPJ, FZD
3. Fluorescencja rentgenowska (XRF)
4. Dyfrakcja rentgenowska (XRD) – ITME, IFD UW
5. Skaningowa Mikroskopia Elektronowa (SEM) – ITME
6. Spektroskopia Ramanowska - UMCS

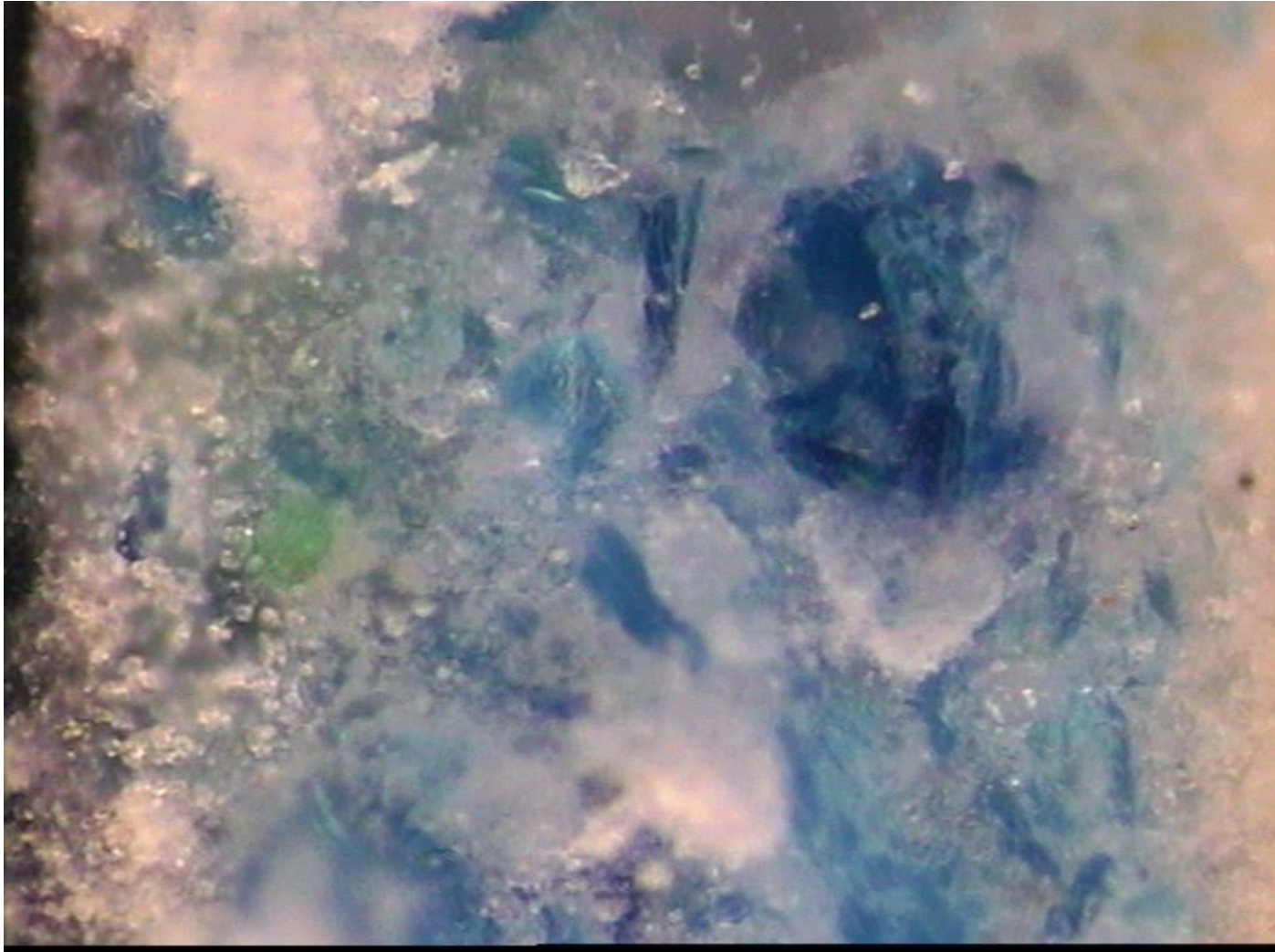
5 X



10 X



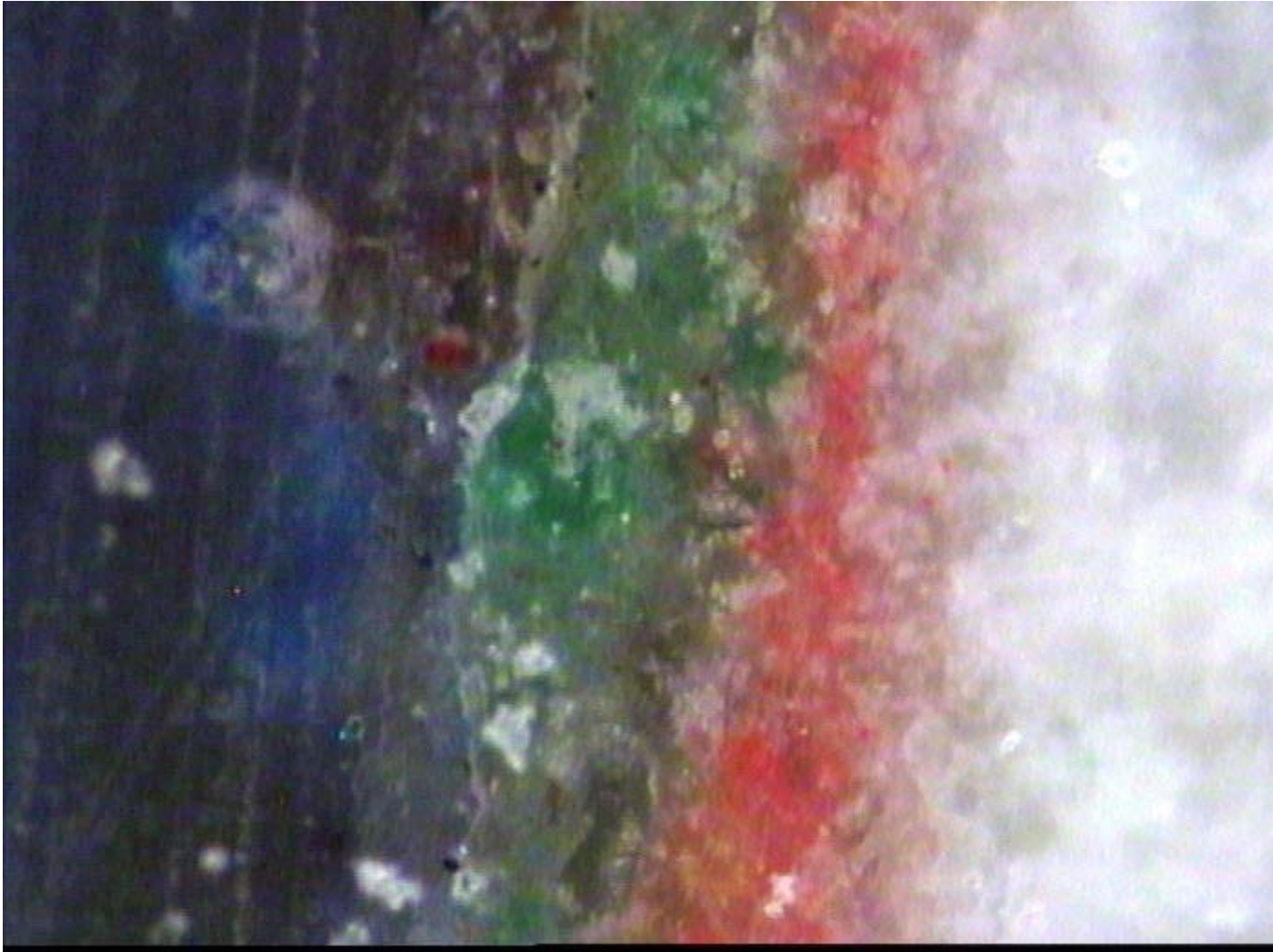
20 X

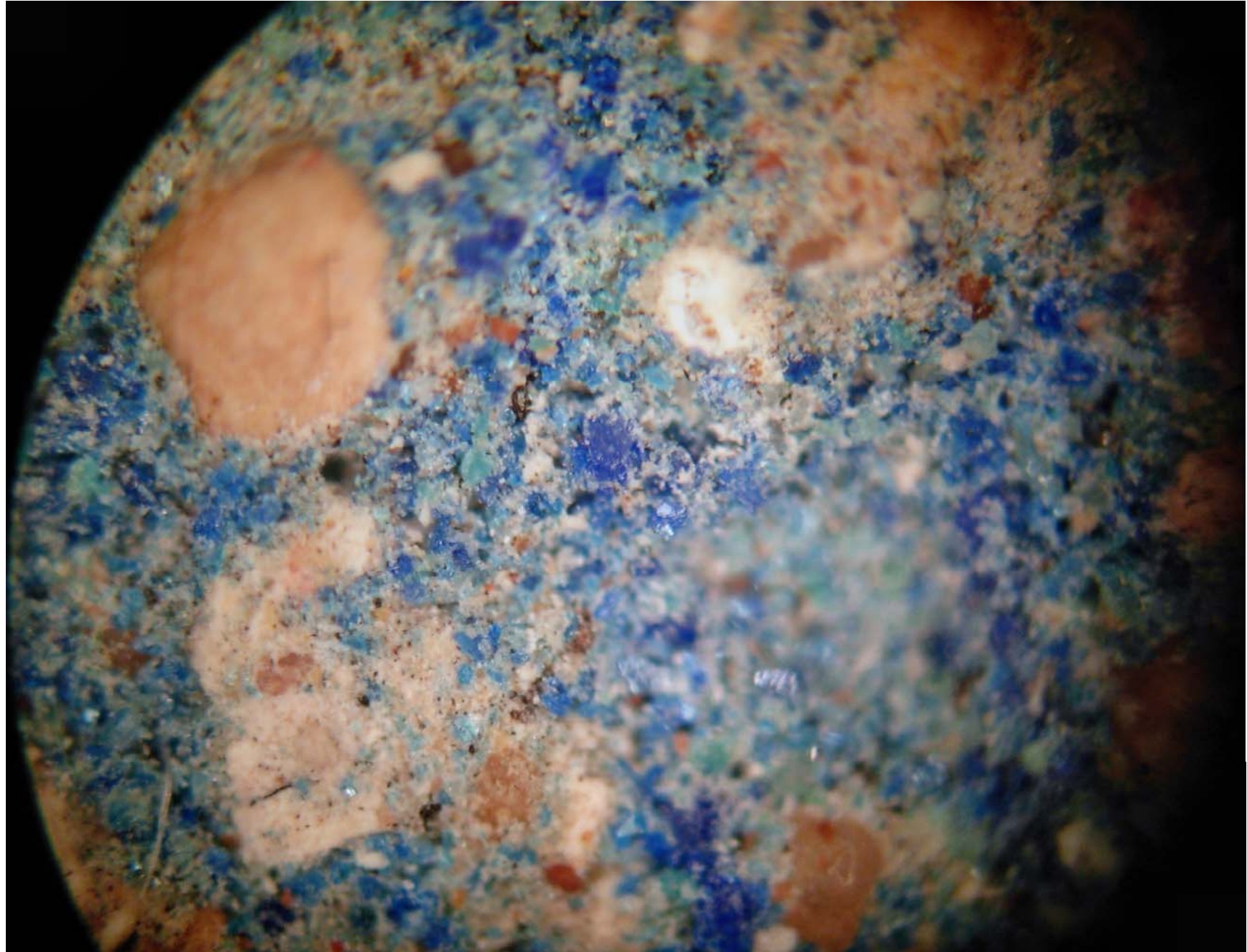


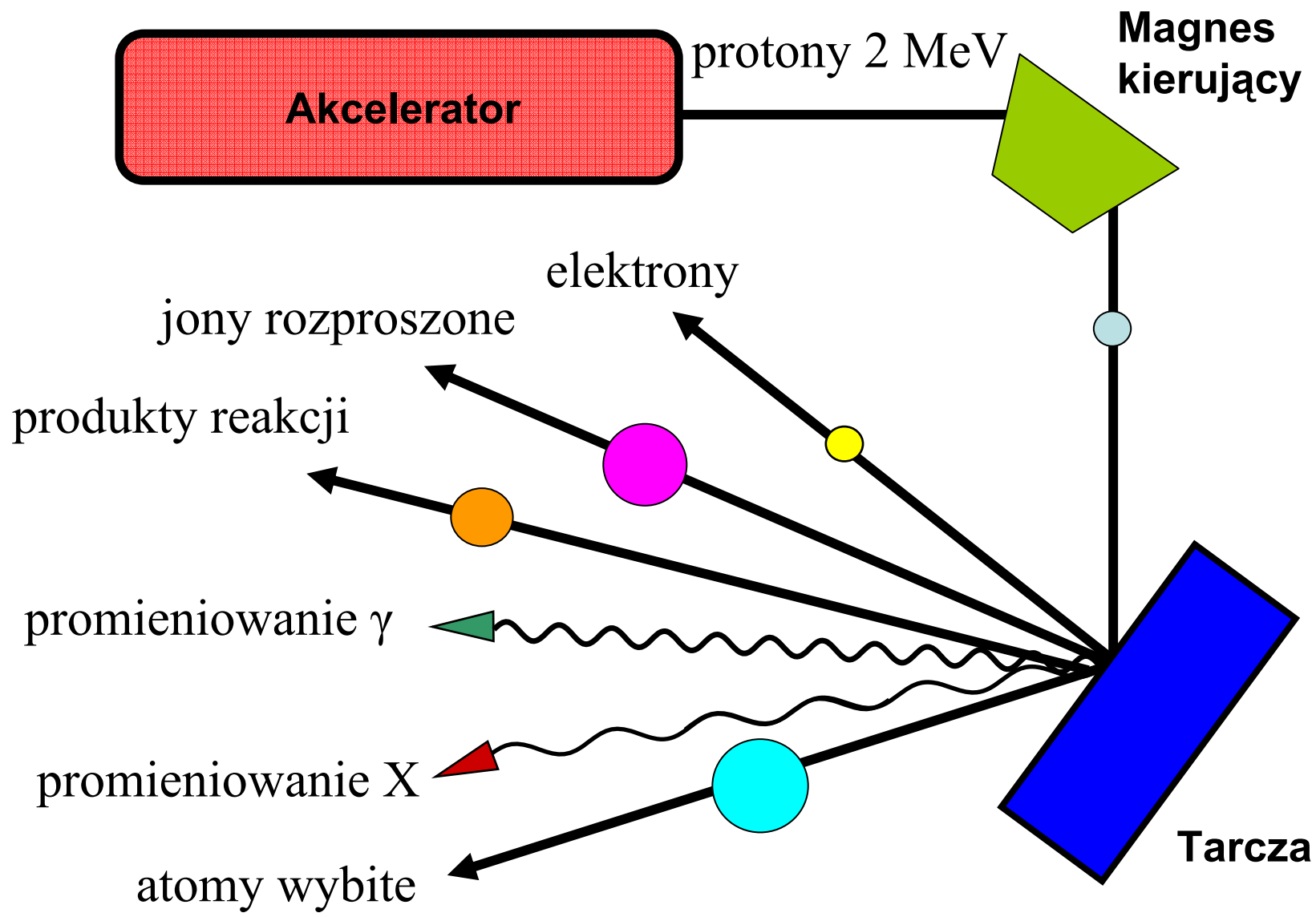
20 X



10 X

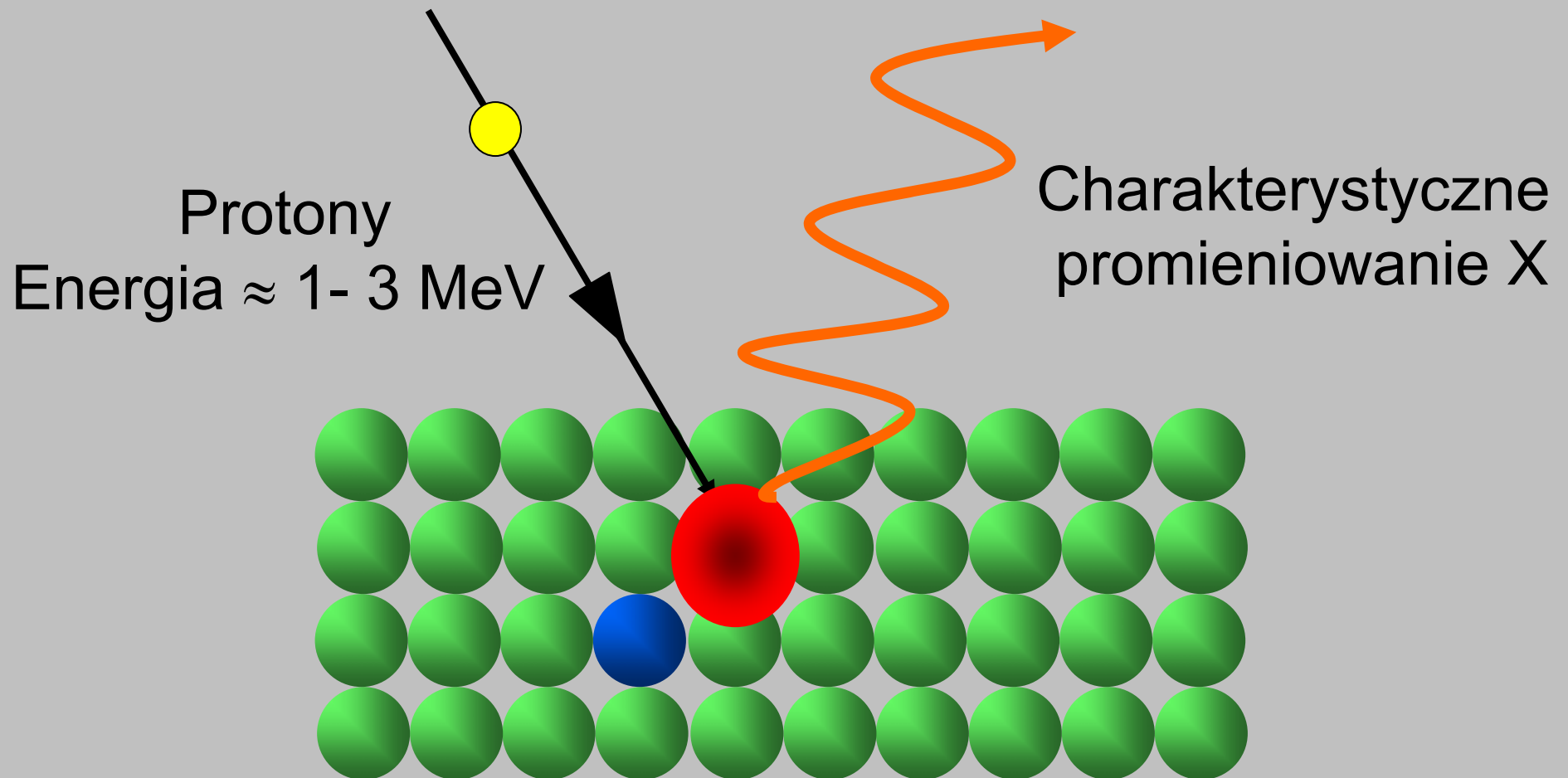




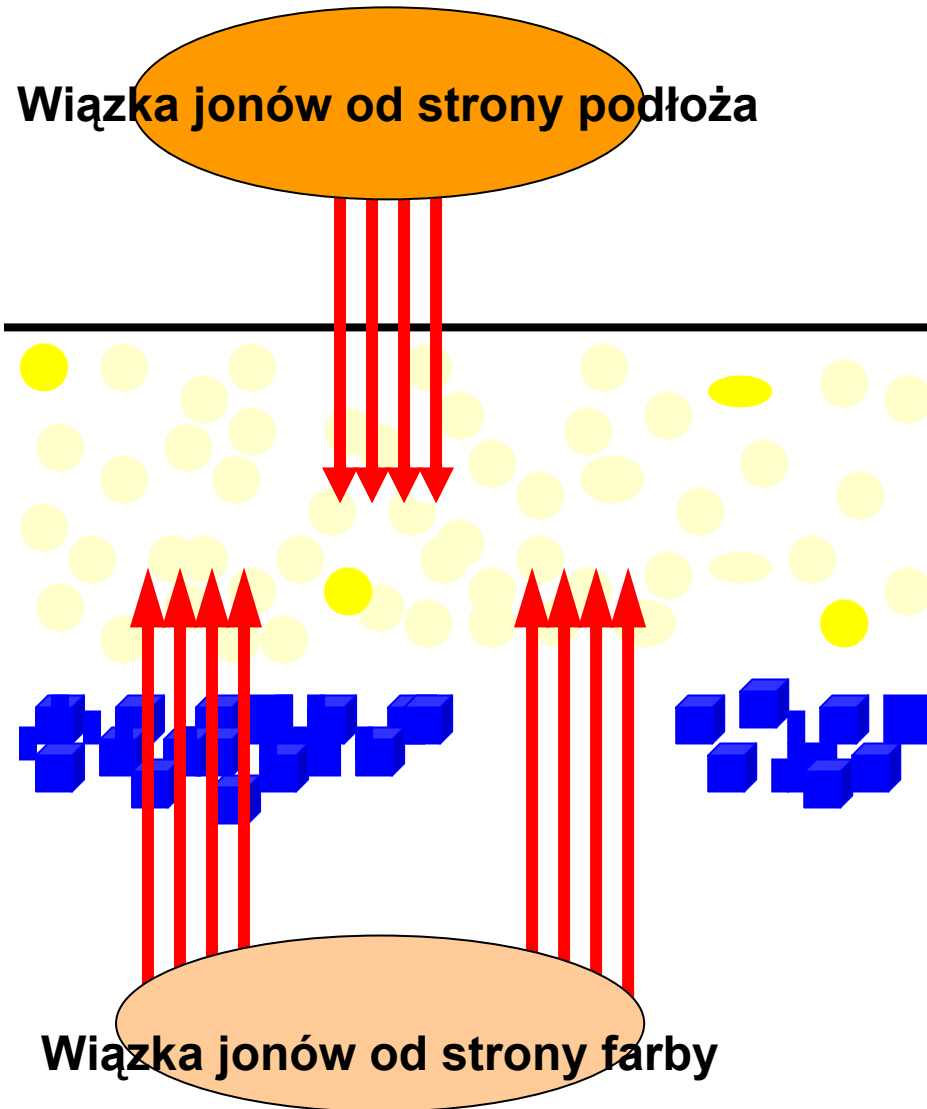
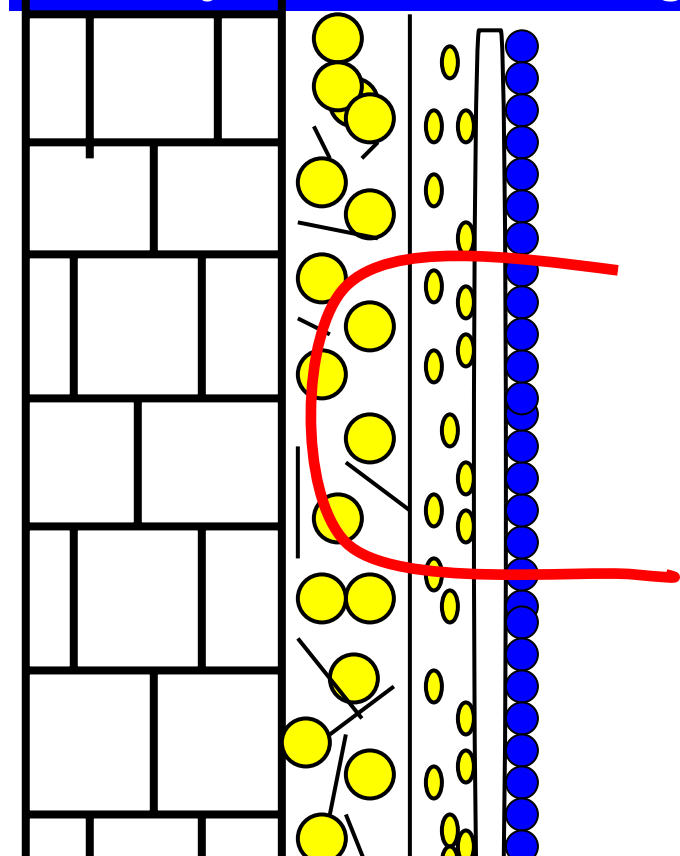


PIXE

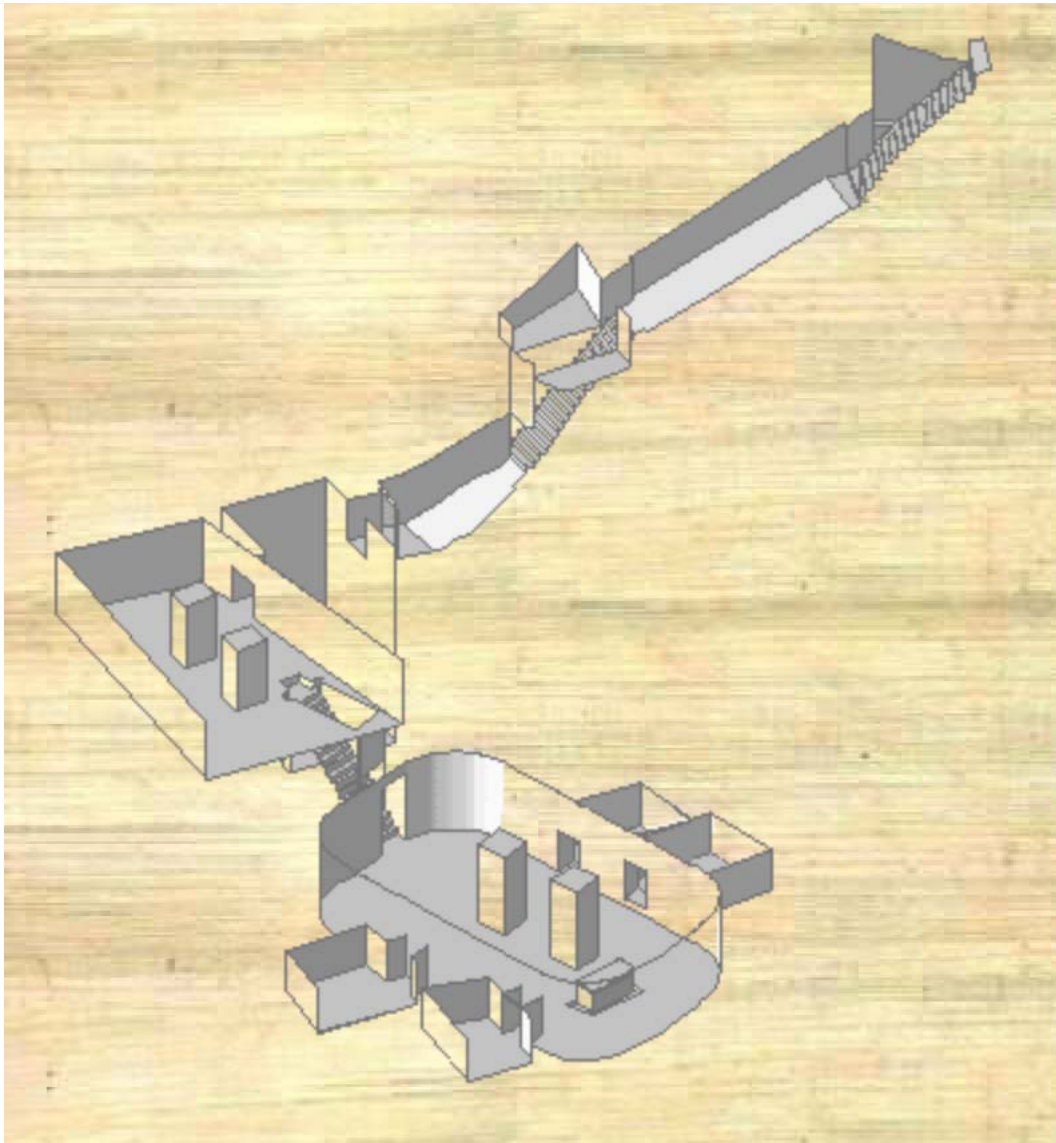
Particle Induced X-ray Emission



Przekrój malowidła ściennego



Luxor
Dolina Królów
Grobowiec Totmesa III
(N.34) 1425 BC



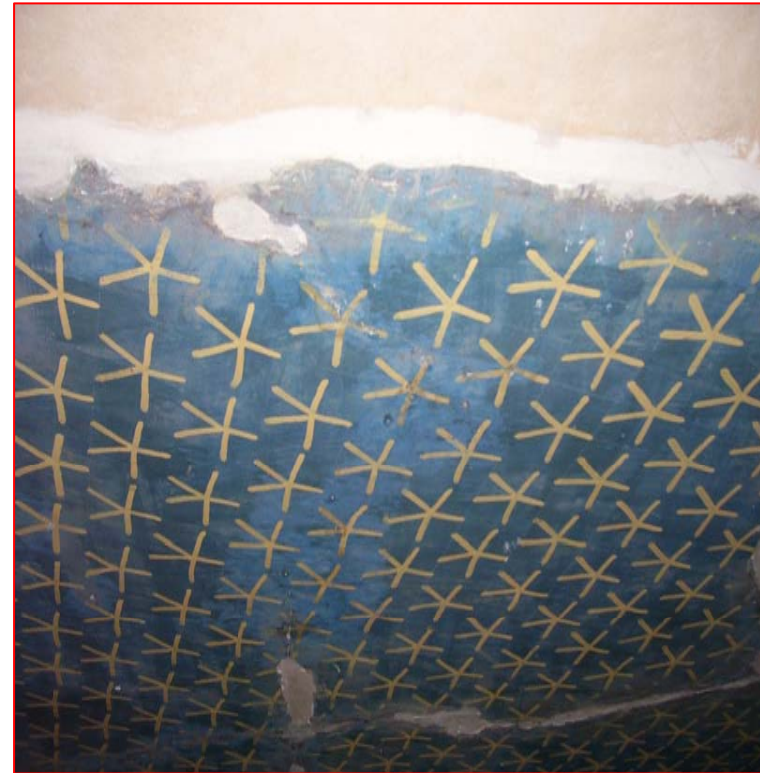
Grobowiec Totmesa III (N.34) 1425 BC



Grobowiec Totmesa III (N.34) 1425 BC

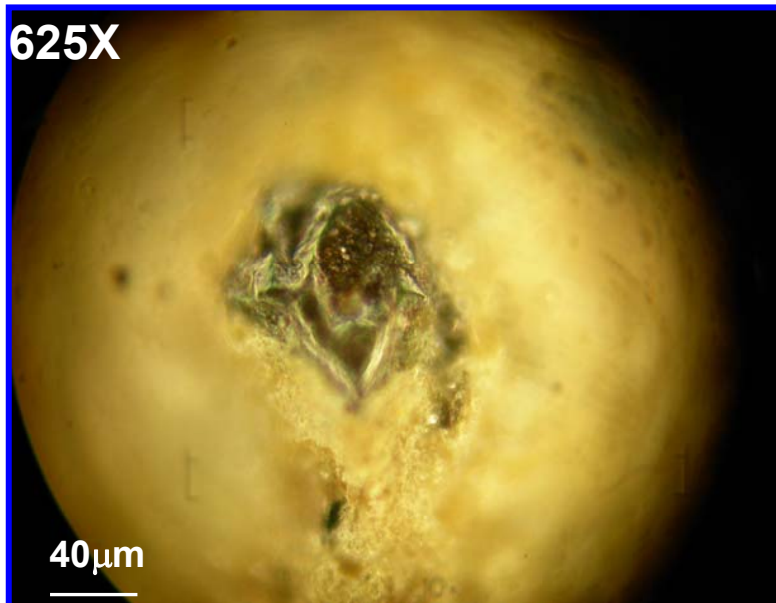
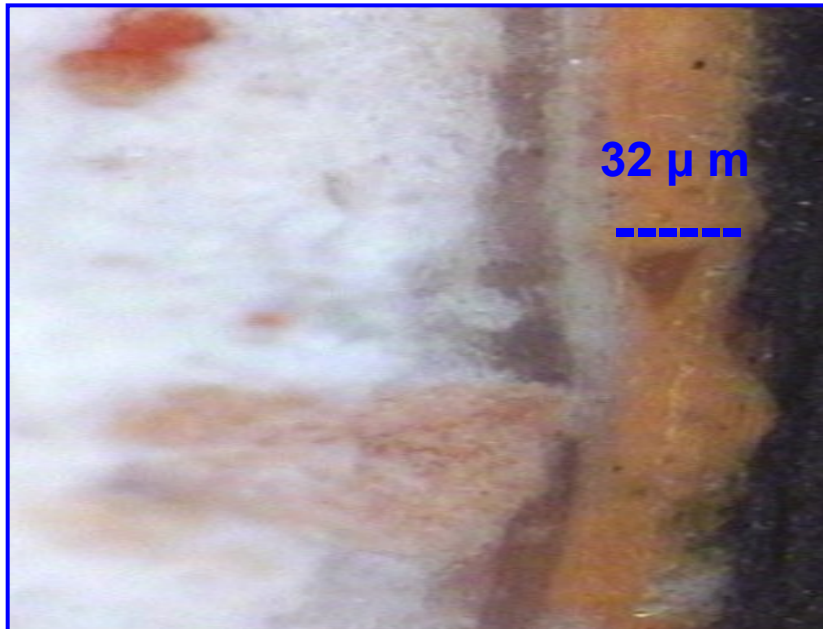
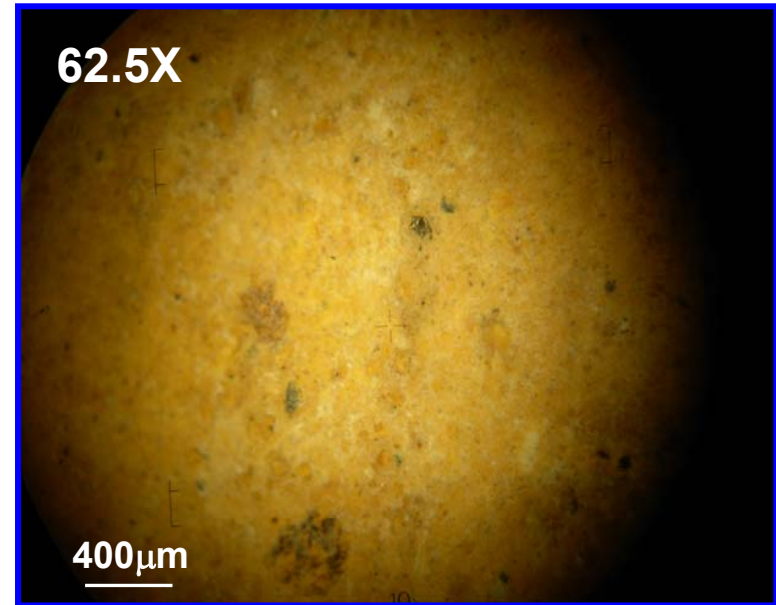


Grobowiec Totmesa III (N.34) 1425 BC



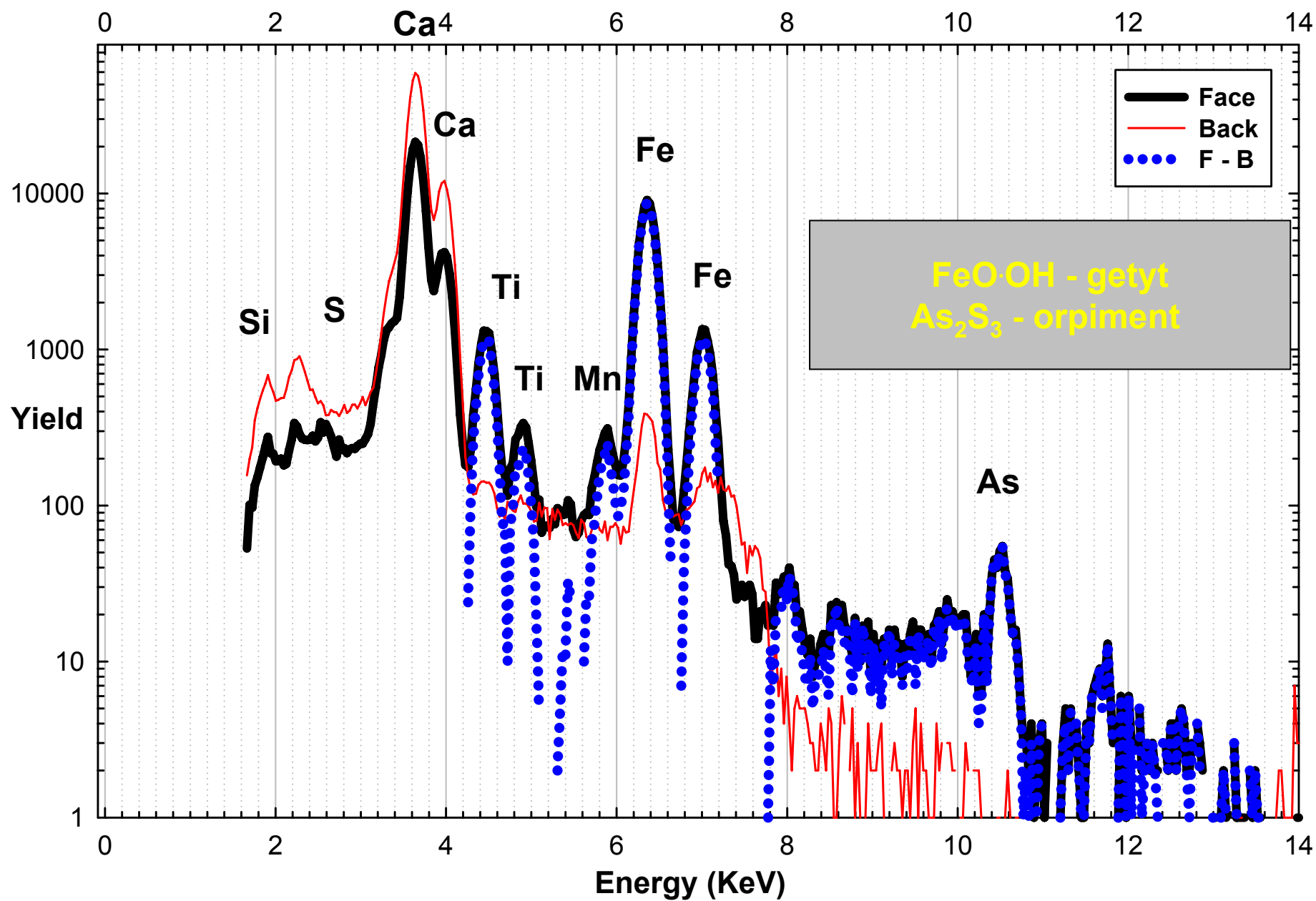
Żółty pigment

Grobowiec Totmesa III (N.34) 1504 BC



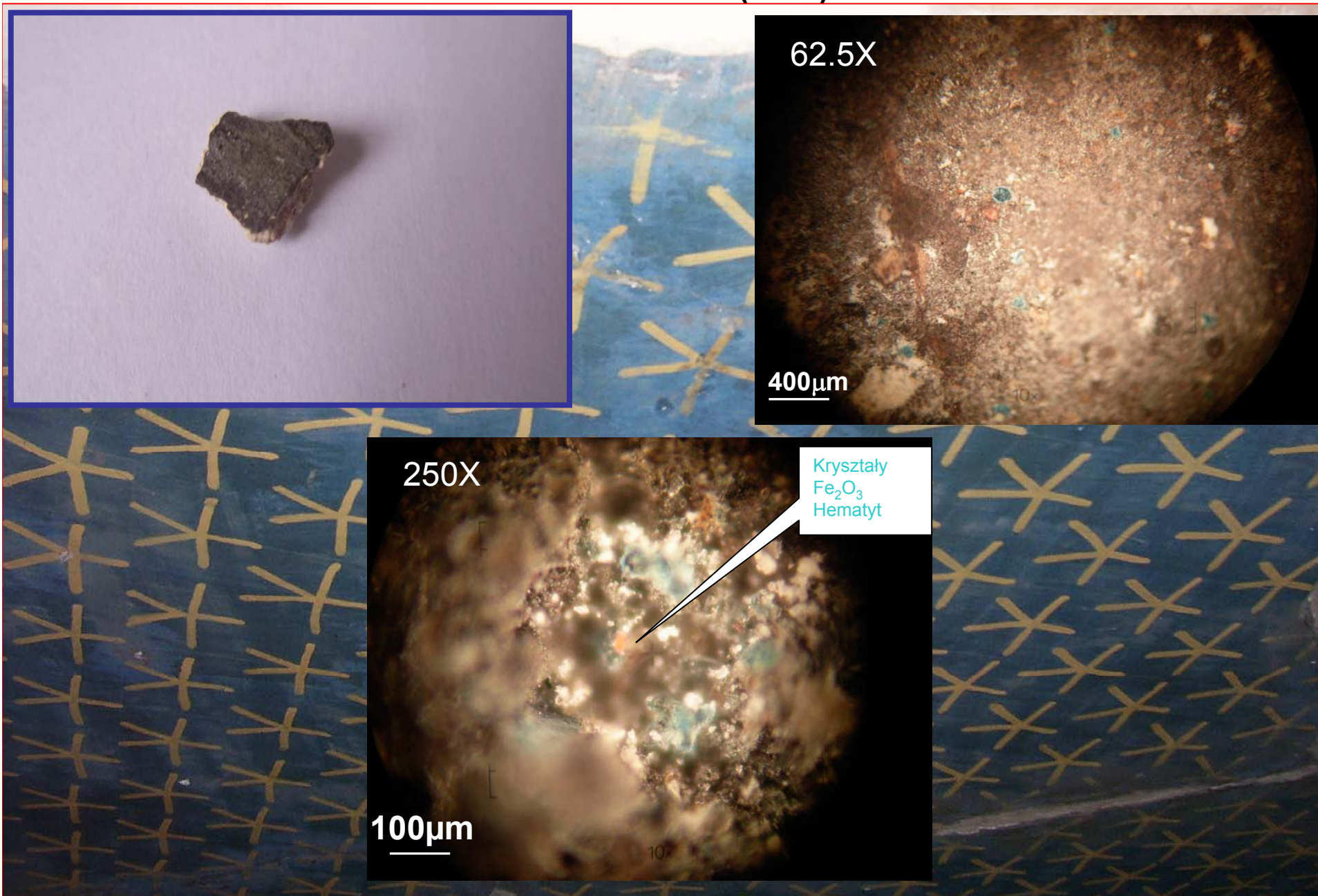
Widmo PIXE żółtego pigmentu

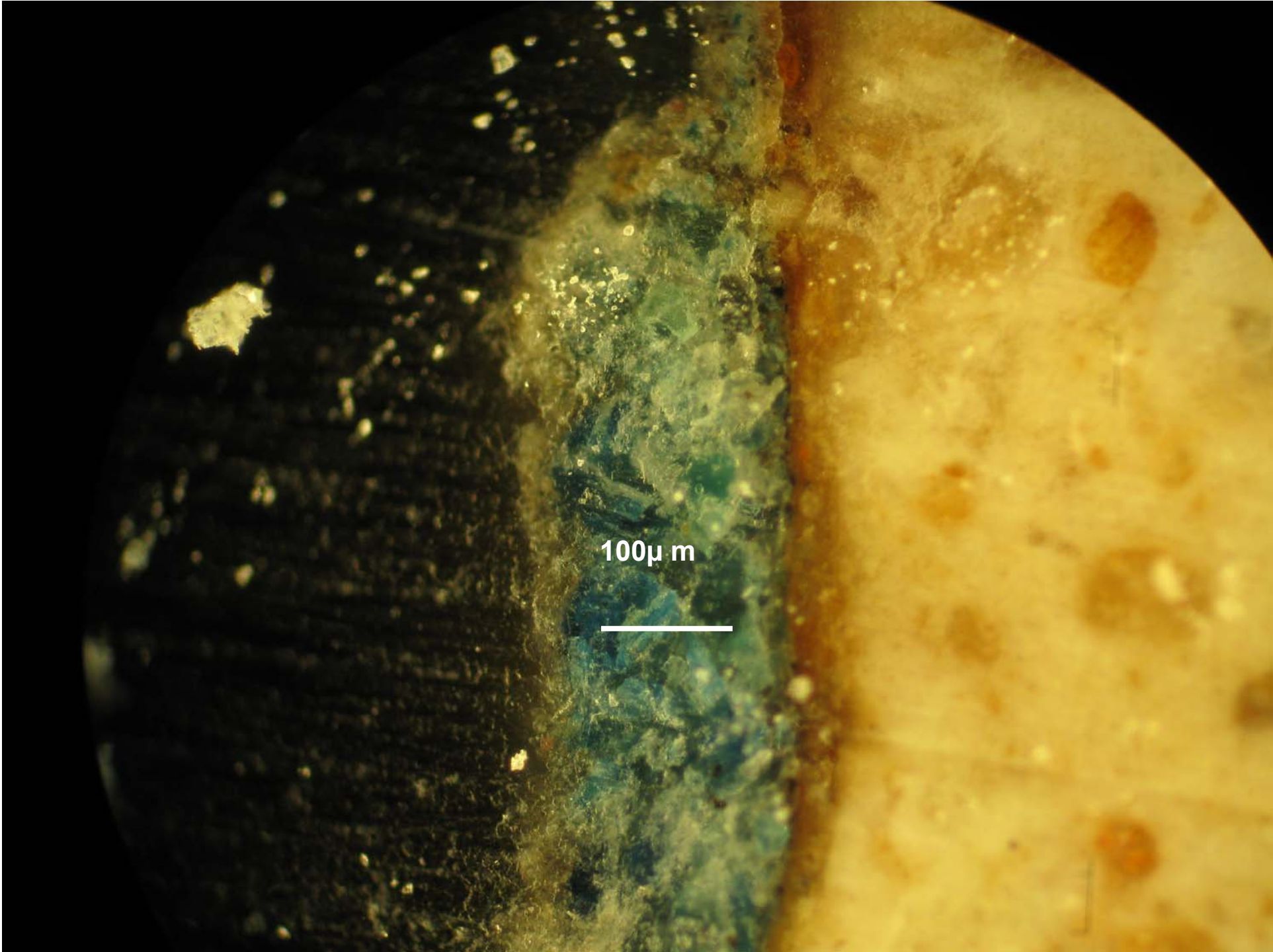
Grobowiec Totmesa III (N.34) 1504 BC



Ciemnoniebieski pigment

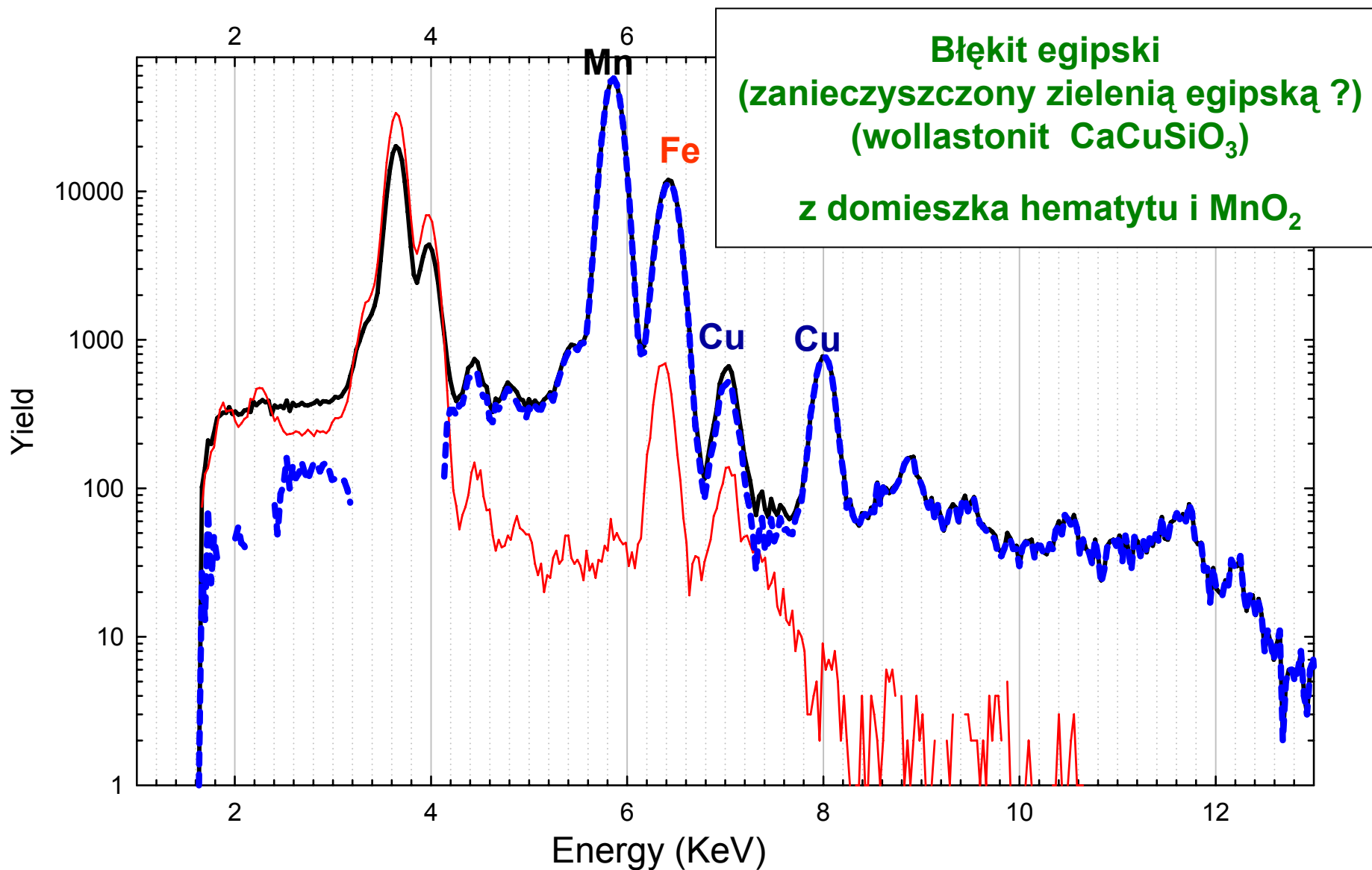
Grobowiec Totmesa III (N.34) 1504 BC





Widma PIXE dla ciemnoniebieskiego pigmentu

Grobowiec Totmesa III (N.34) 1504 BC



20 X

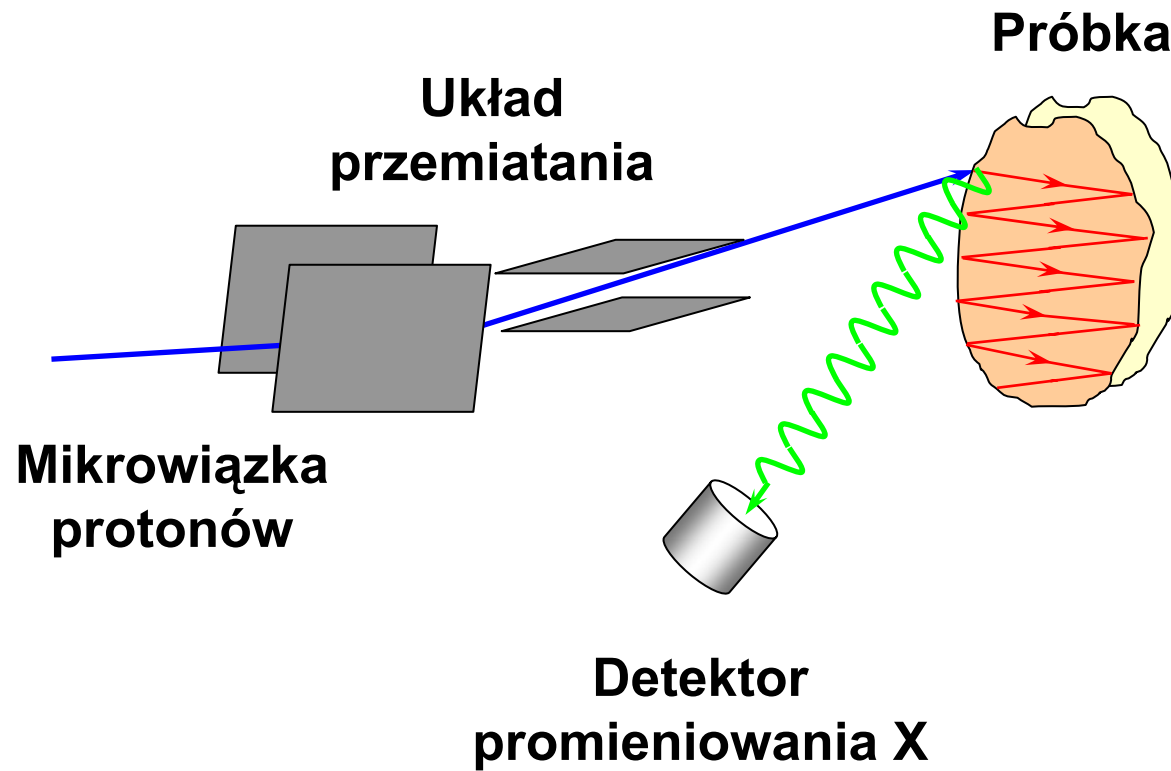


Mikrowiązka

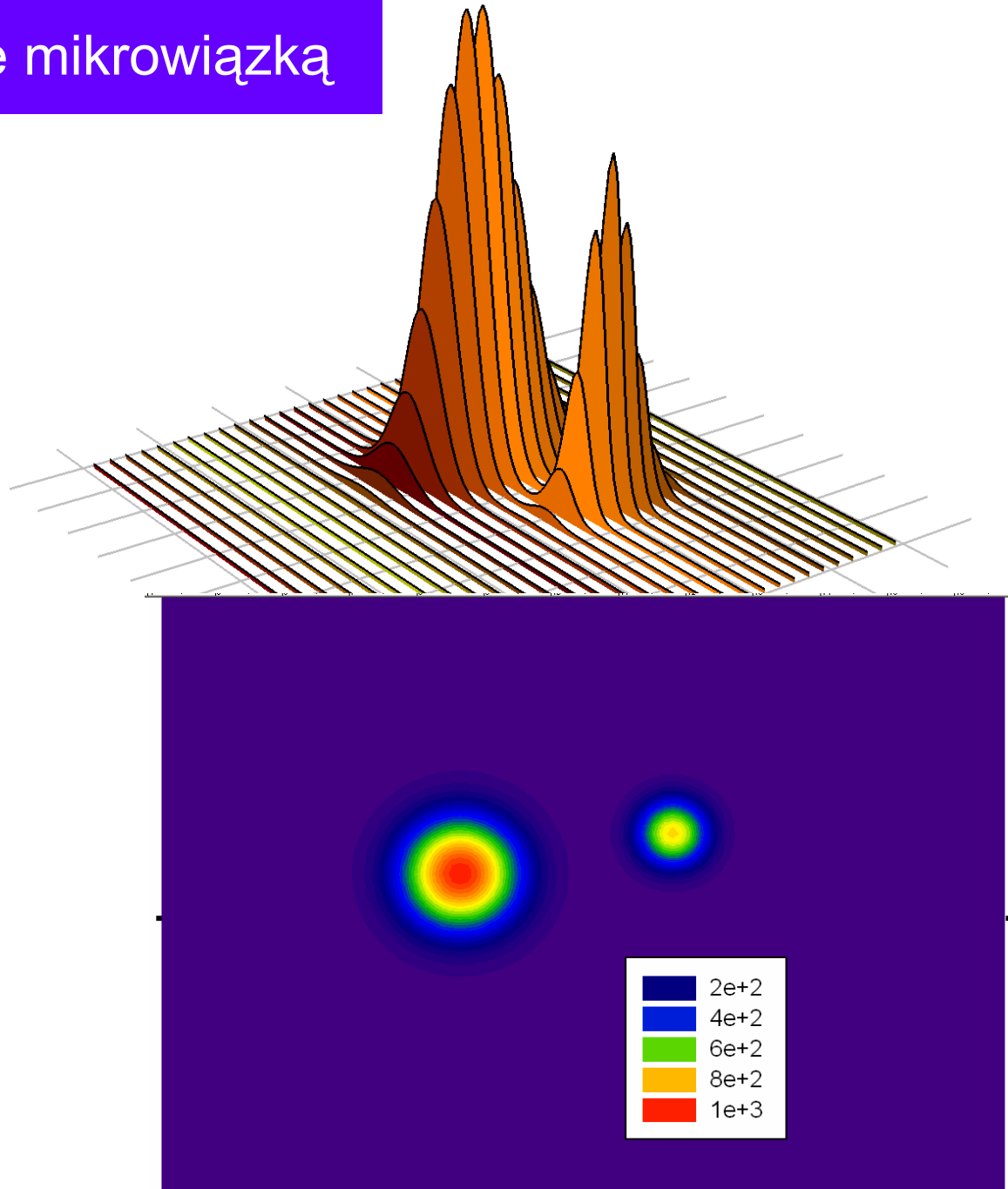
Wiązkę protonów można zogniskować do rozmiarów pojedynczych μm .

Przemiatając wiązką po powierzchni próbki możemy dokonywać identyfikacji różnych pierwiastków i jednocześnie tworzyć powierzchniowe mapy ich koncentracji.

Mapowanie mikrowiązką

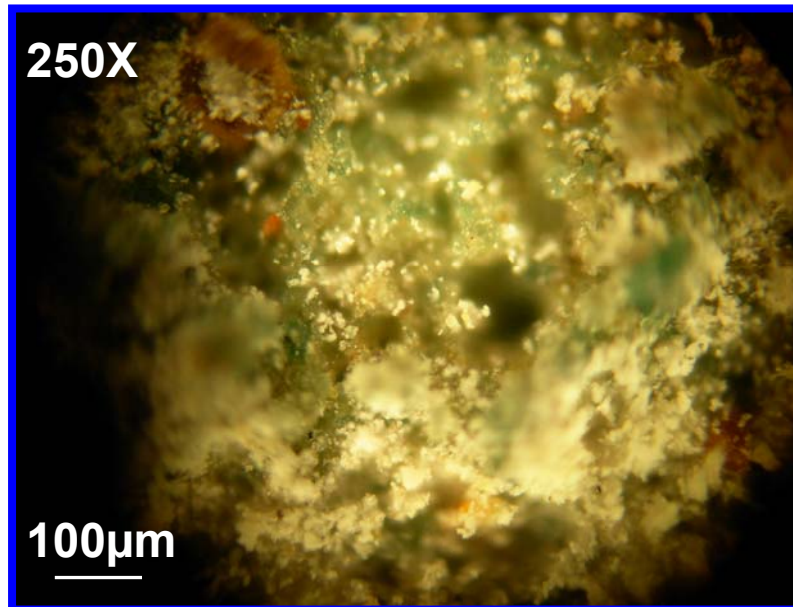
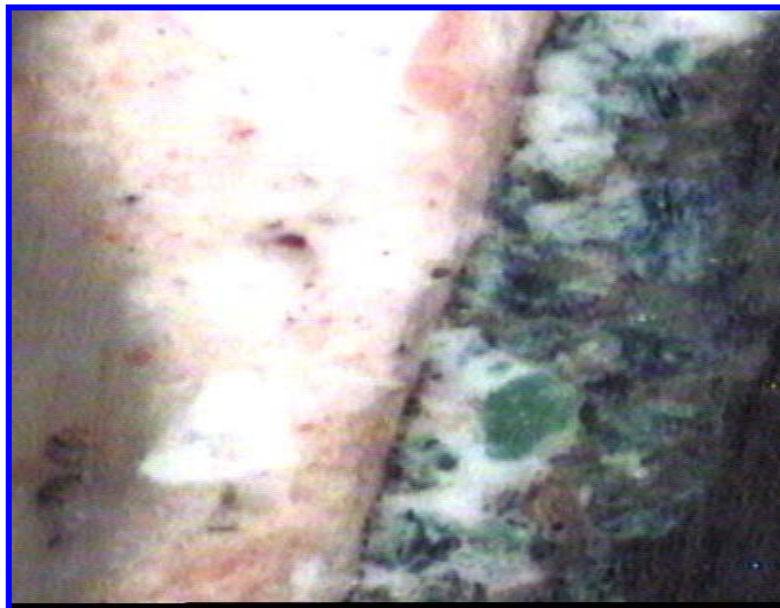
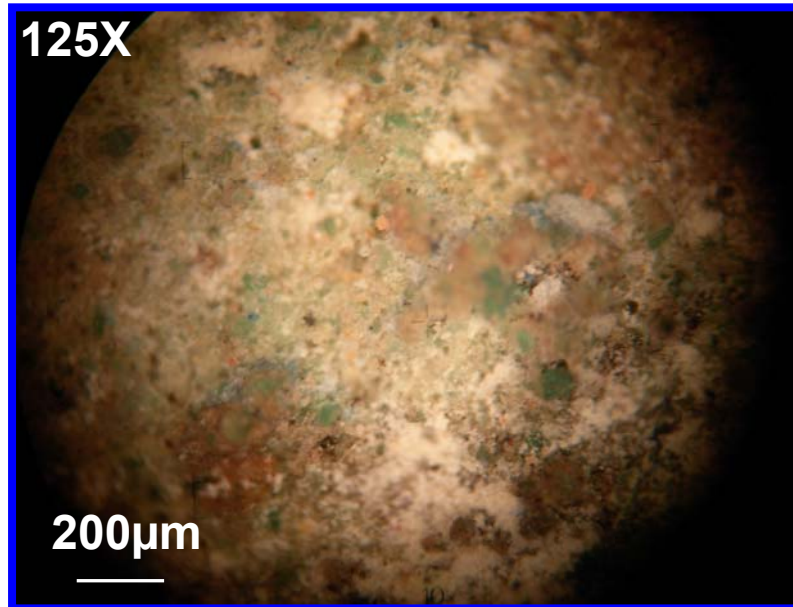
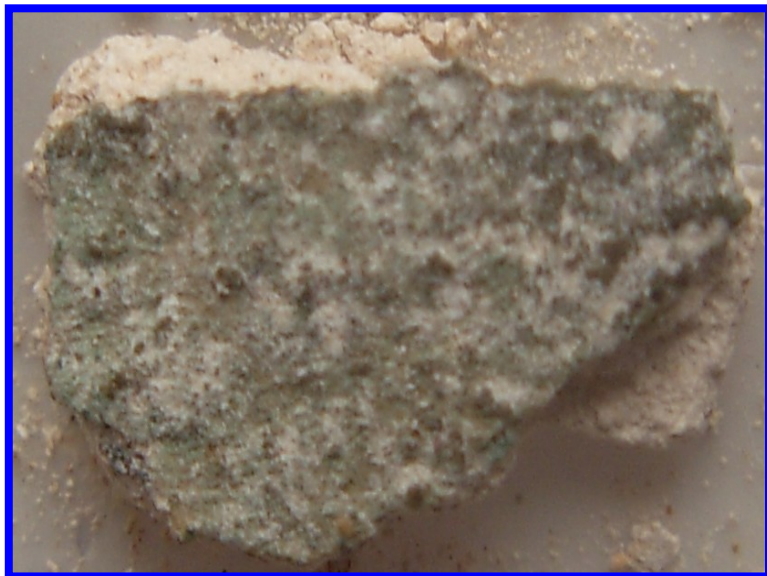


Mapowanie mikrowiązka



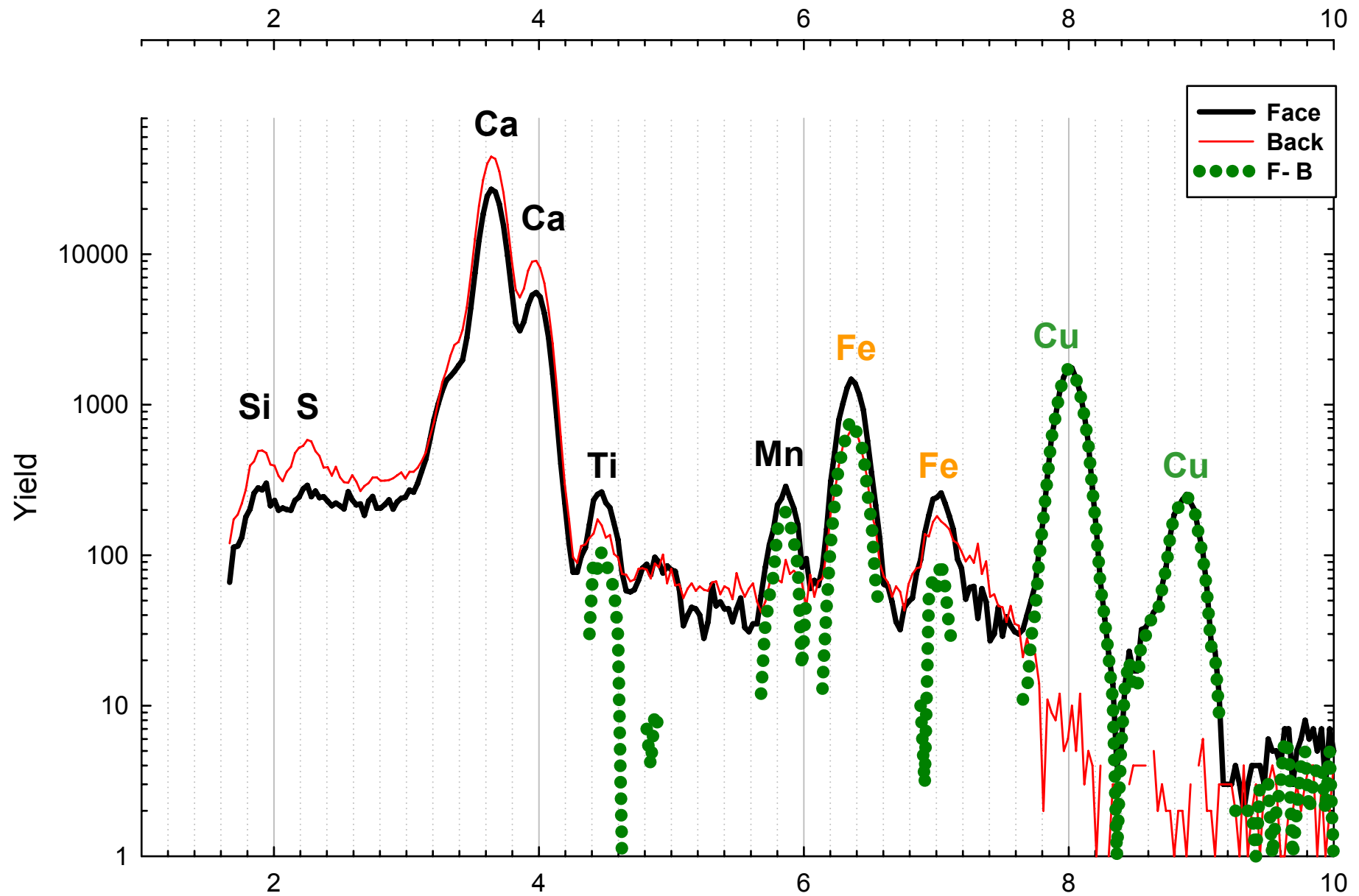
Analiza zielonego pigmentu

Grobowiec Totmesa III (N.34) 1504 BC



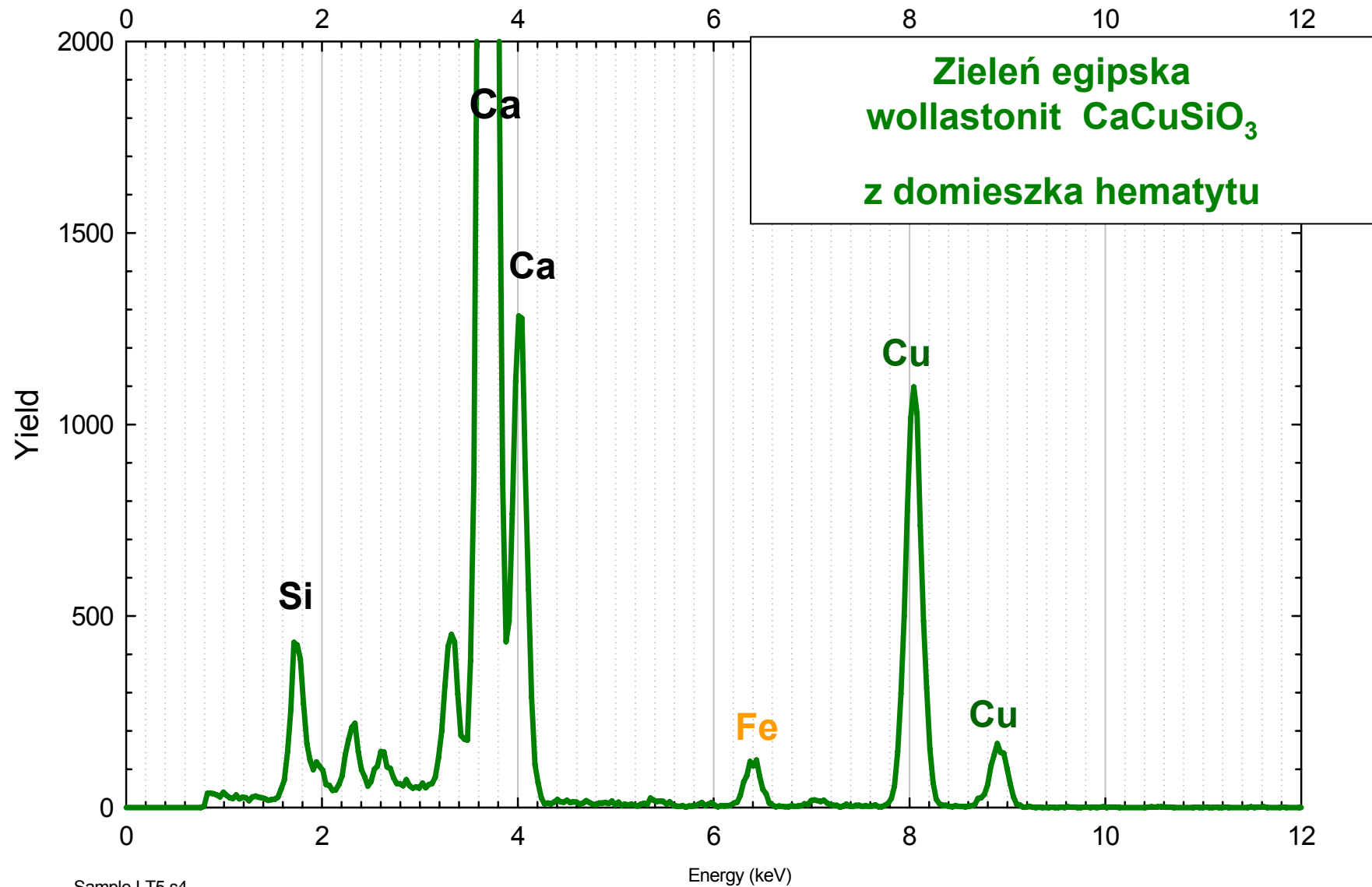
Widmo PIXE zielonego pigmentu

Grobowiec Totmesa III (N.34) 1504 BC



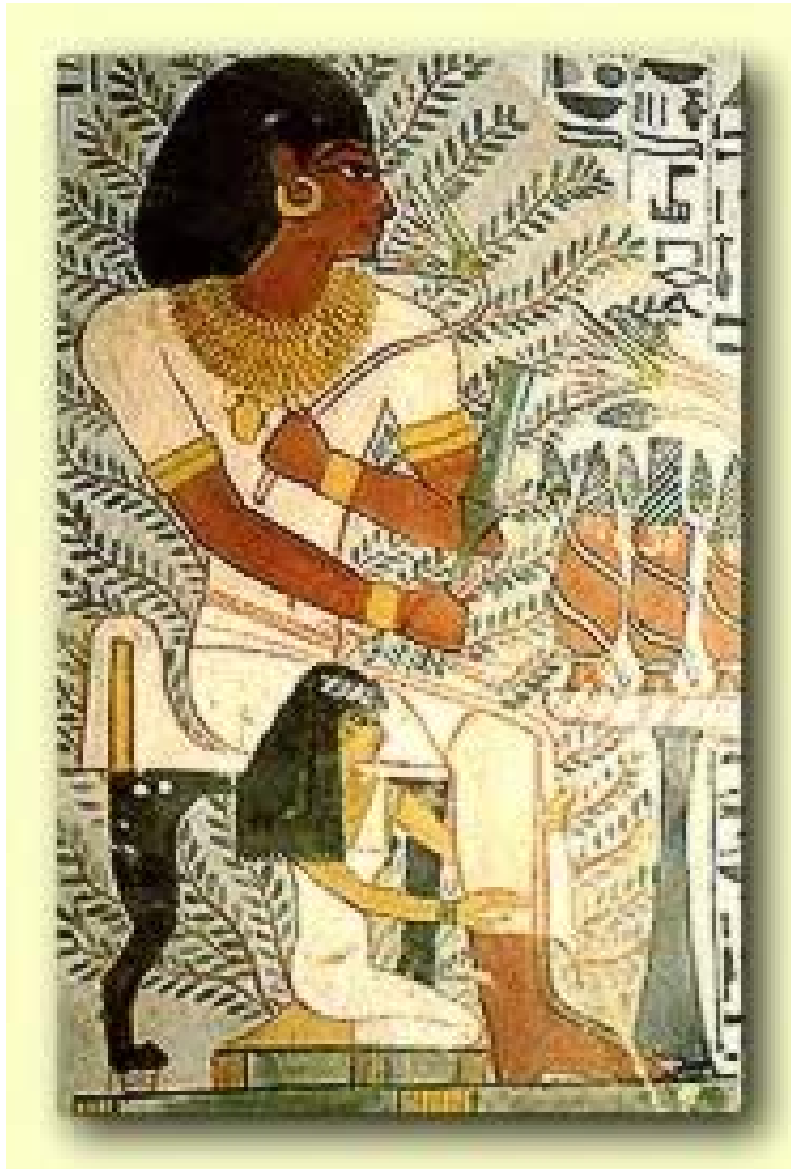
Mapy μ PIXE zielonego pigmentu

Grobowiec Totmesa III (N.34) 1504 BC

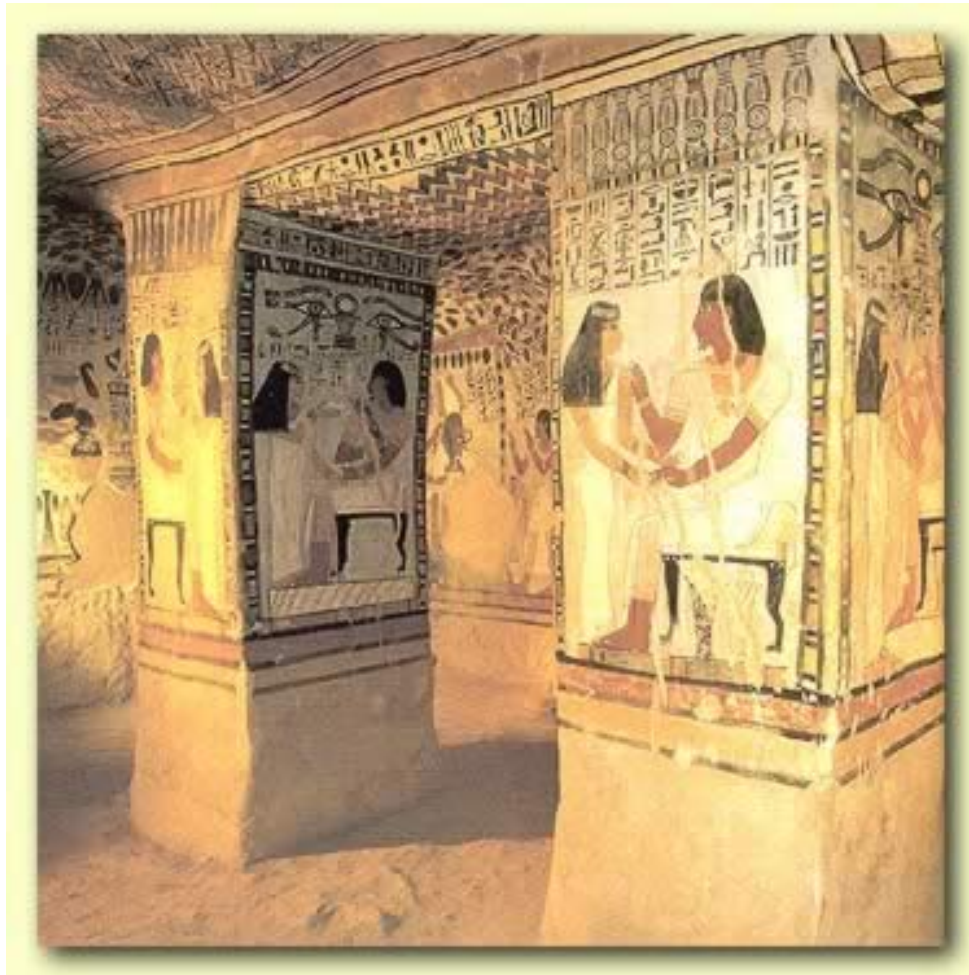


Sample LT5.s4
 μ PIXE E=3.05 MeV protons
Dresden 03/4/2008

**Grobowiec dostojnika imieniem Senneffer
(Tomb of Vineyards) (Tomb N .96) 1450 BC**

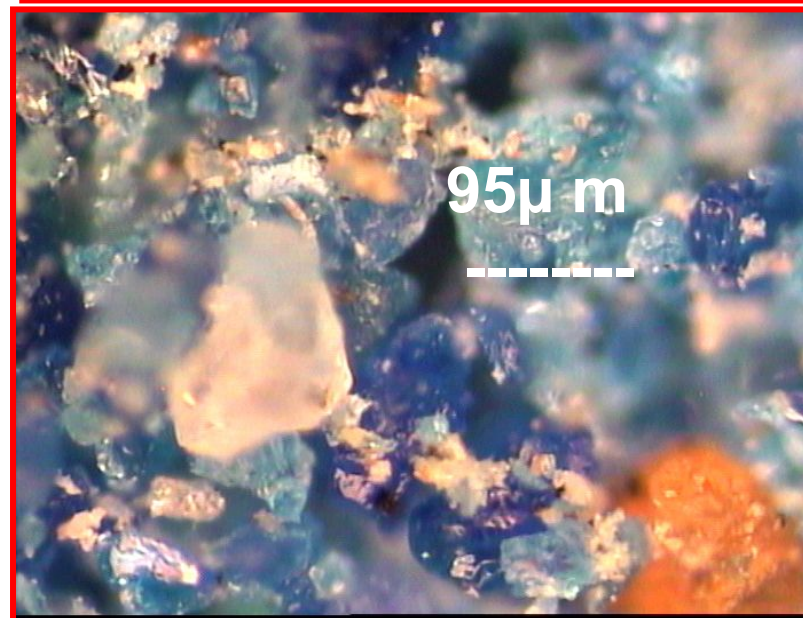
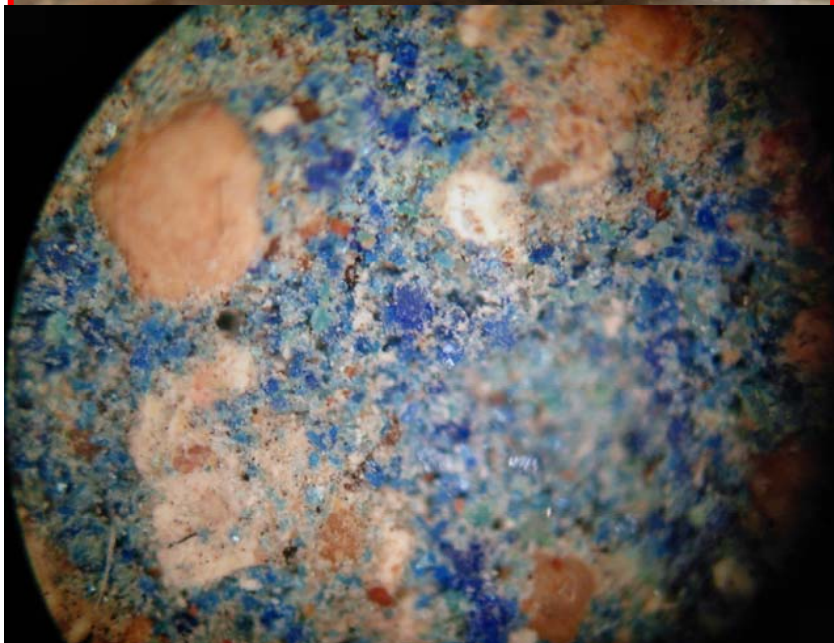
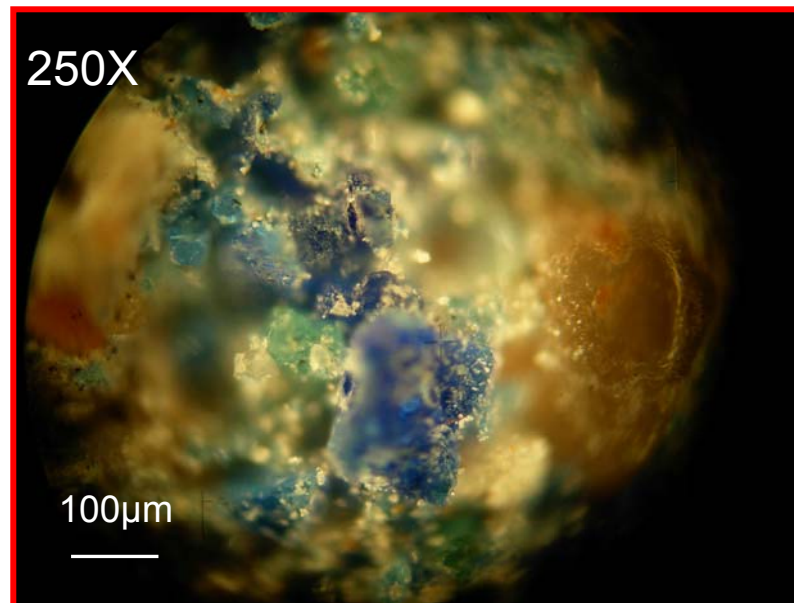
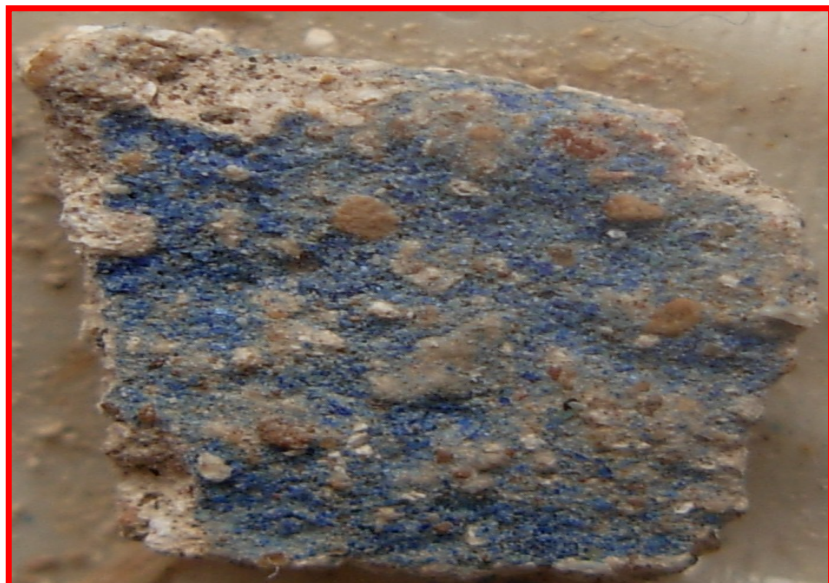


Grobowiec dostojnika imieniem Senneffer 1450 BC (Tomb of Vineyards) (Tomb N.96)



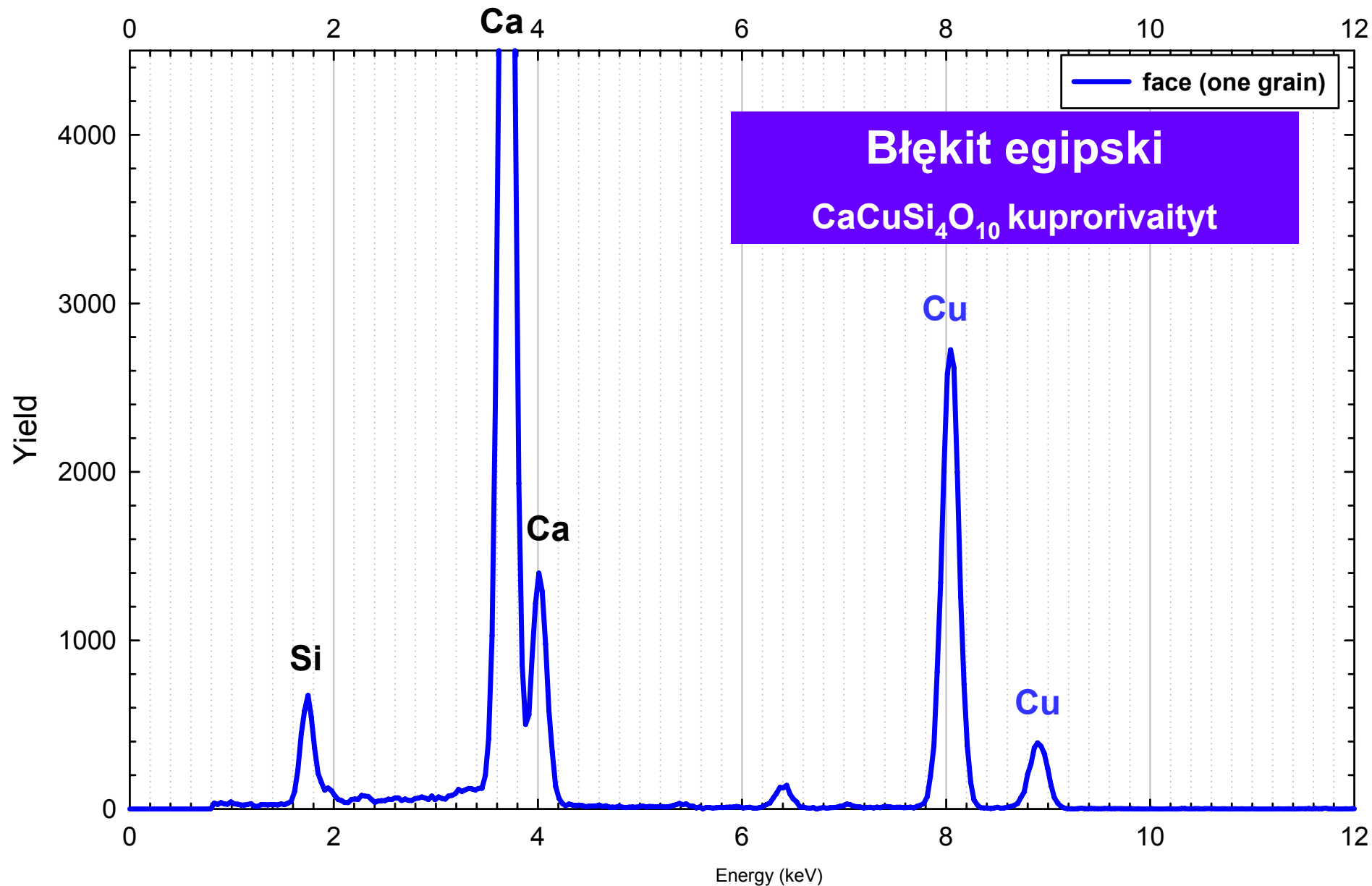
Niebieski pigment

Grobowiec Sennefera (Tomb N.96) 1450 BC

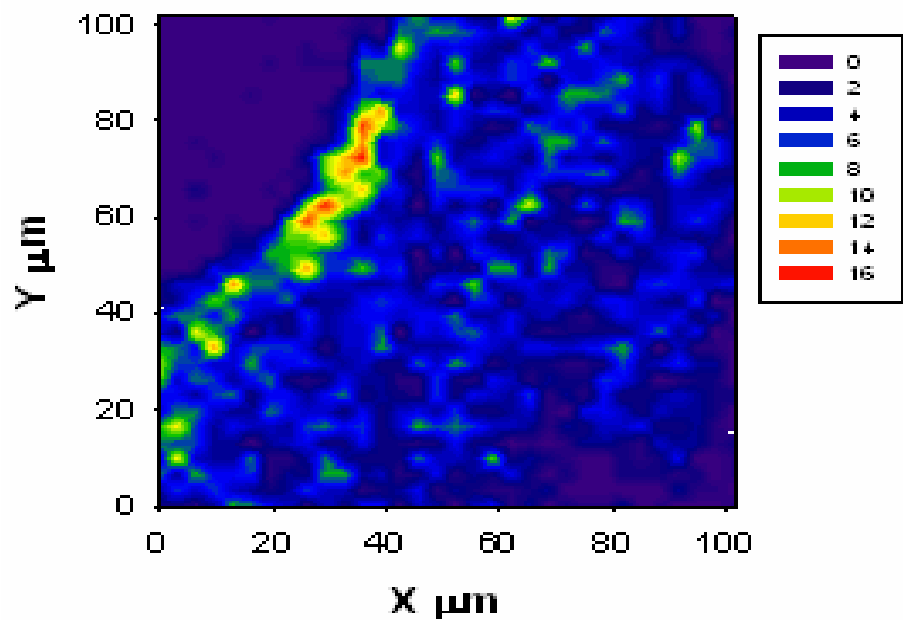
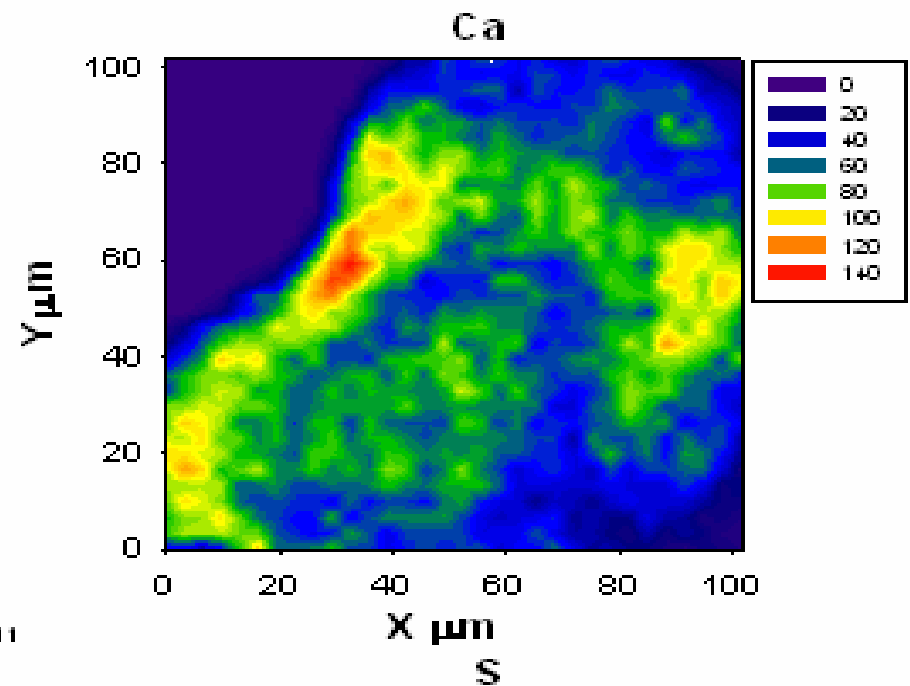
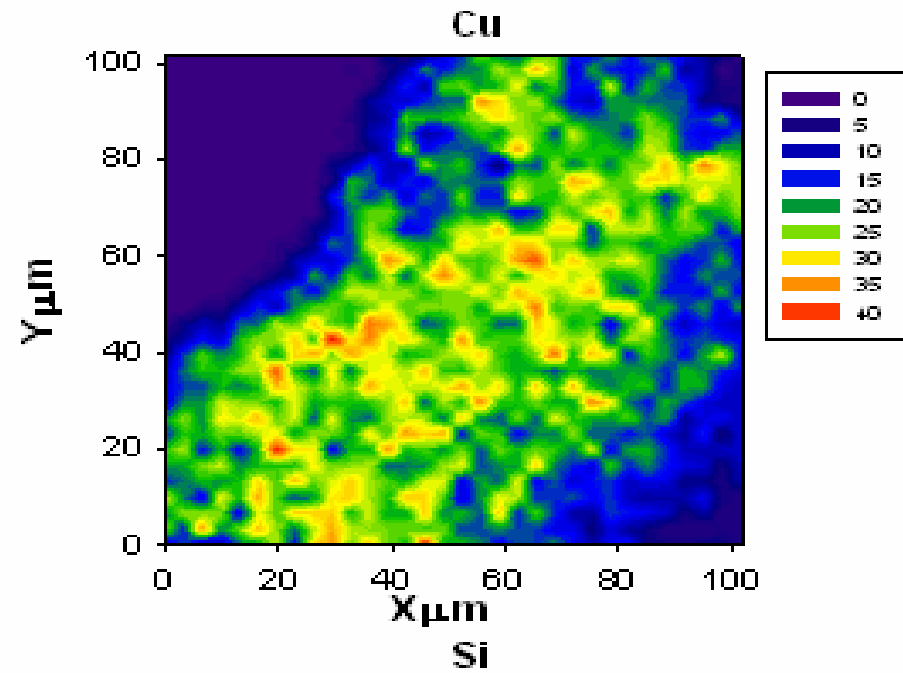


Mapy μ PIXE dla niebieskiego pigmentu

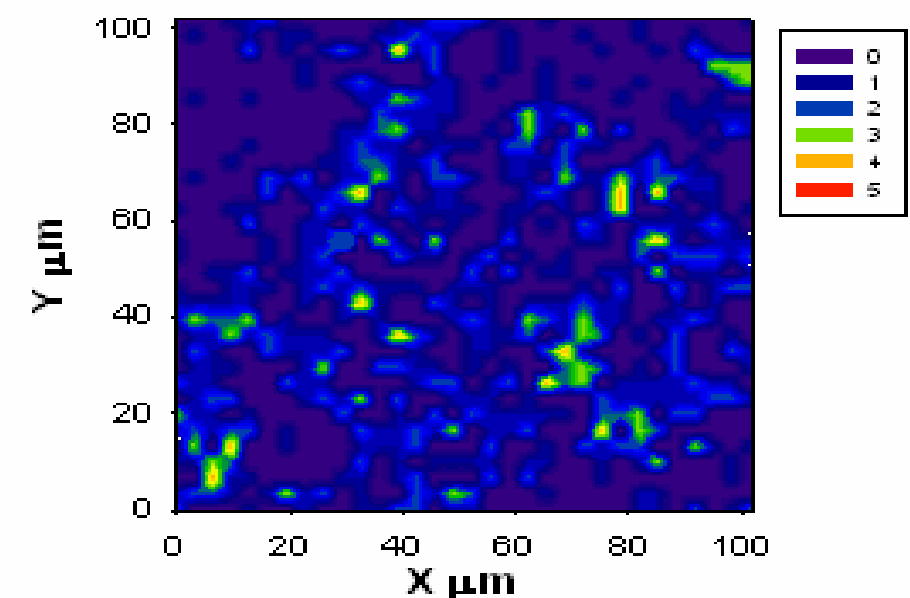
Grobowiec Sennefera (Tomb N.96) 1450 BC



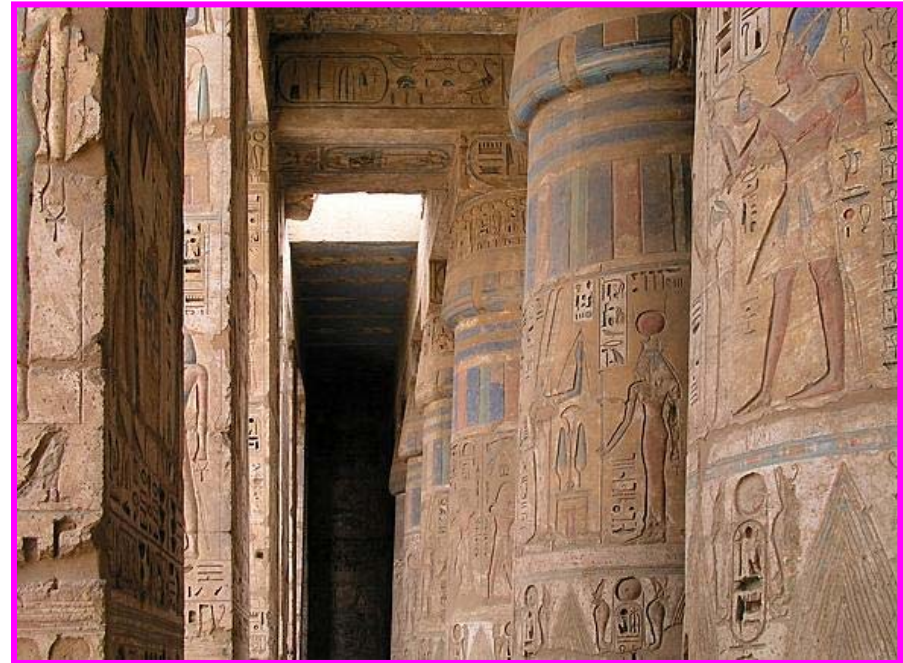
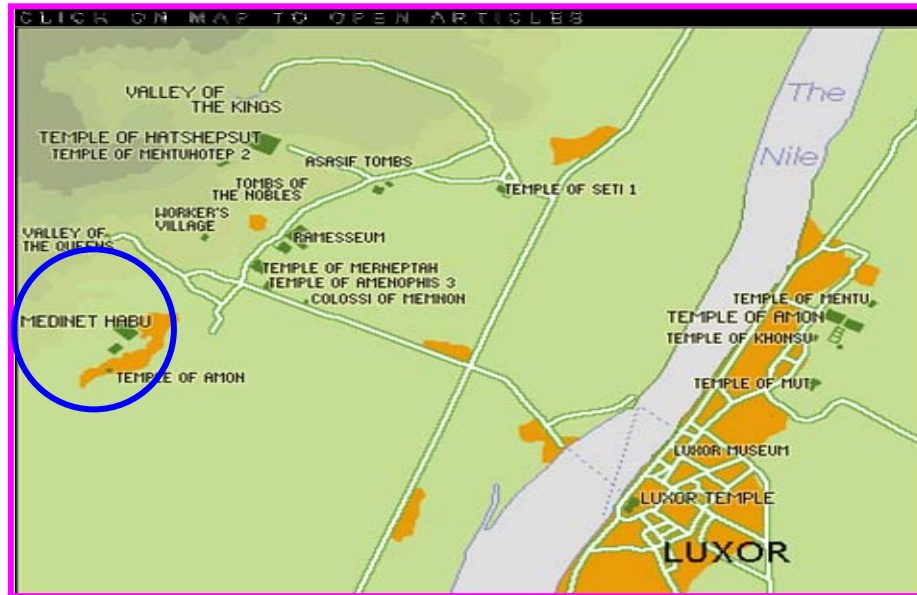
Mapy μ PIXE dla niebieskiego pigmentu Grobowiec Sennefera (Tomb N.96) 1450 BC



0-511

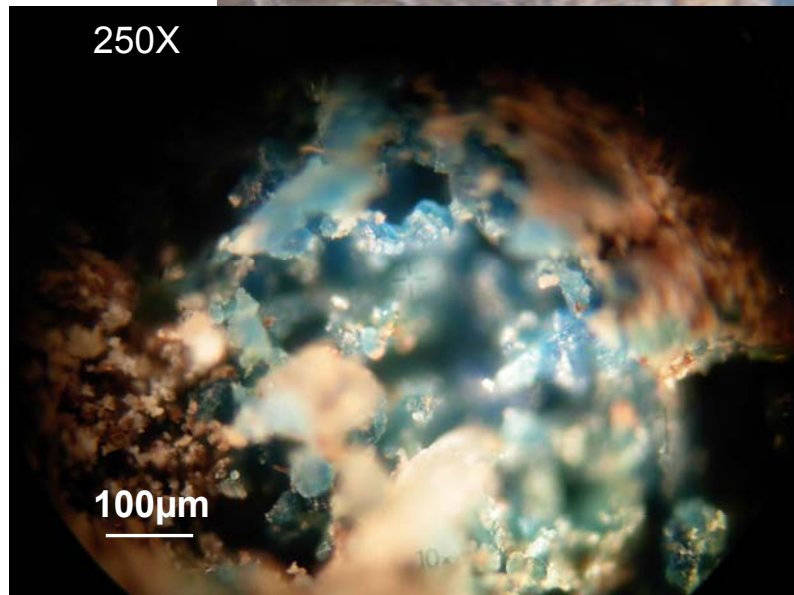


Medinet Habu (Ramzes III @ 1183–1152 BC)

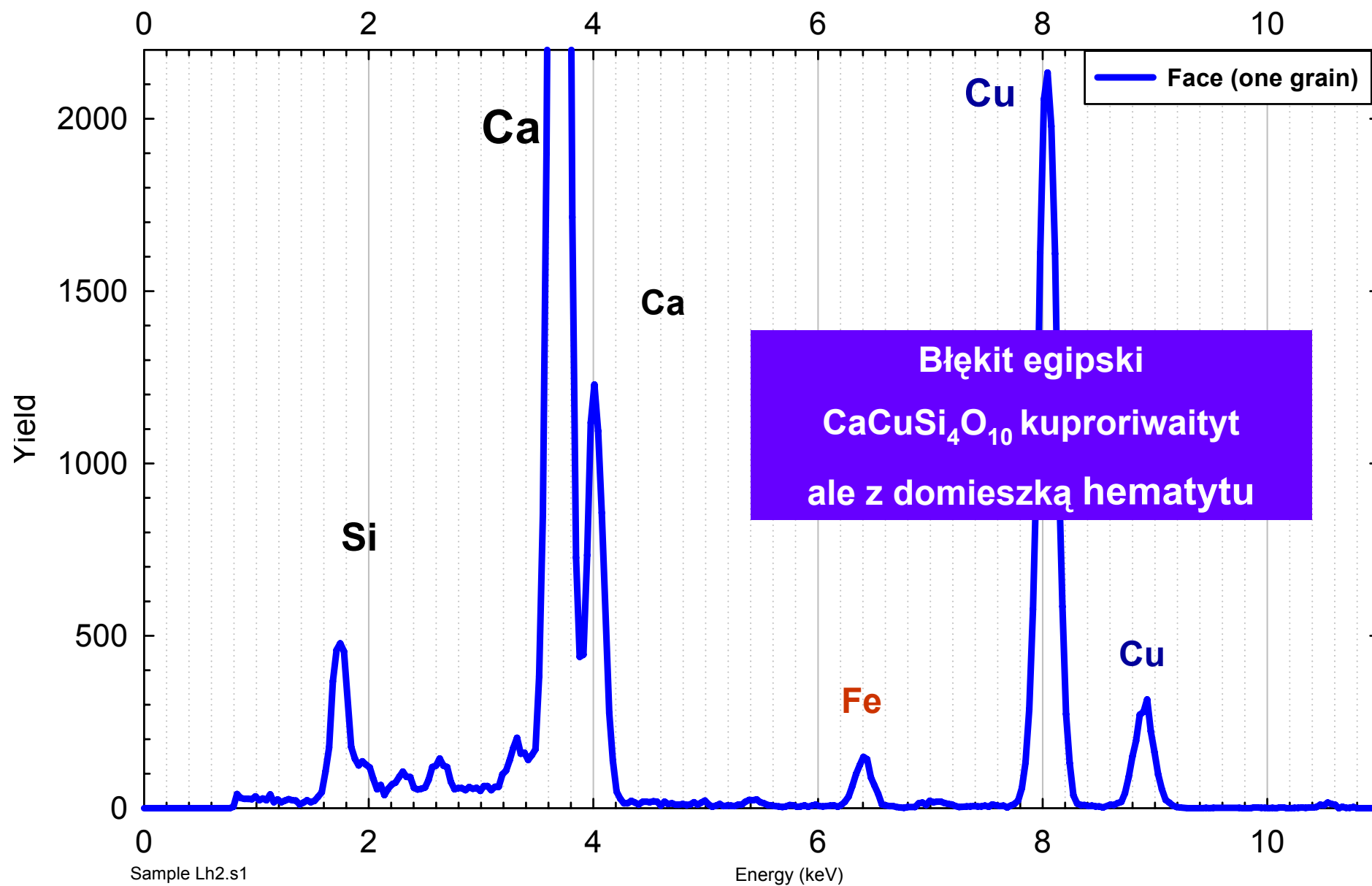


Ciemnoniebieski pigment

Medinet Habu (Ramzes III @ 1183–1152 BC)

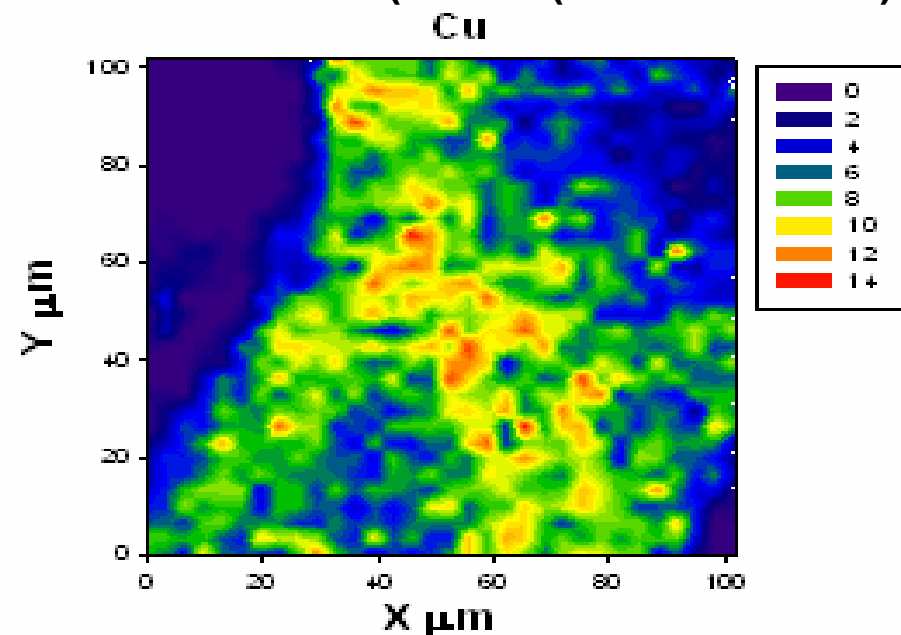


Mapy μ PIXE dla ciemnoniebieskiego pigmentu

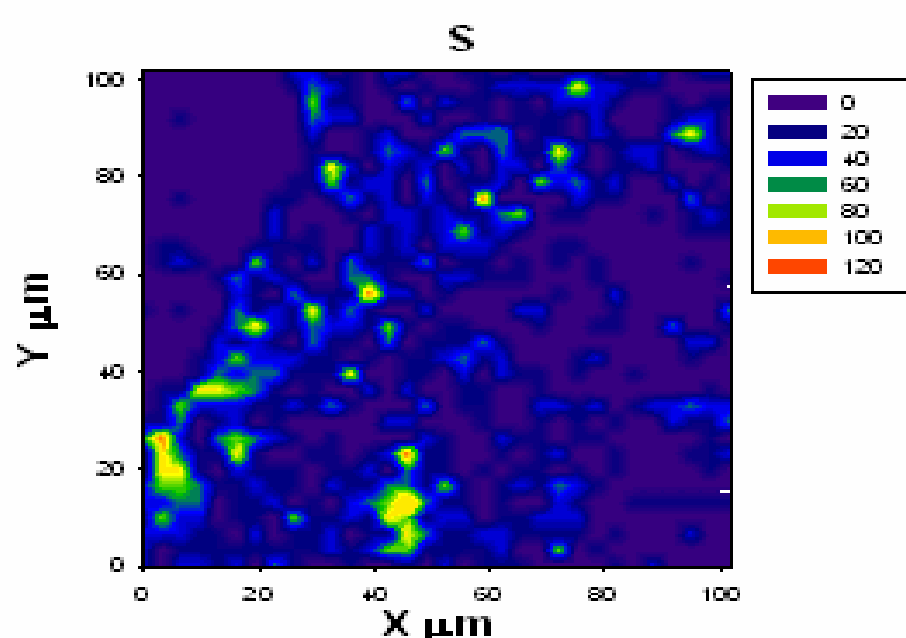
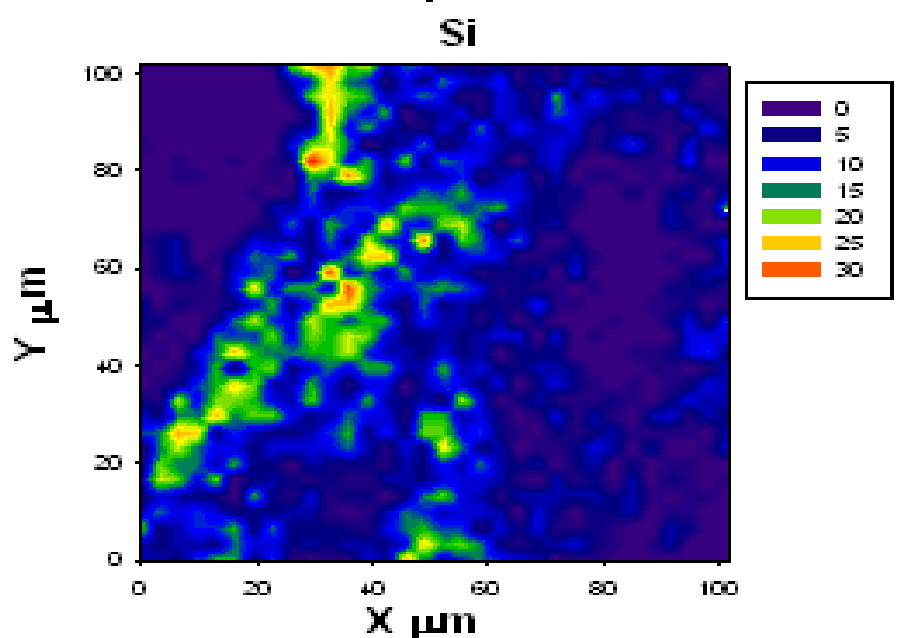
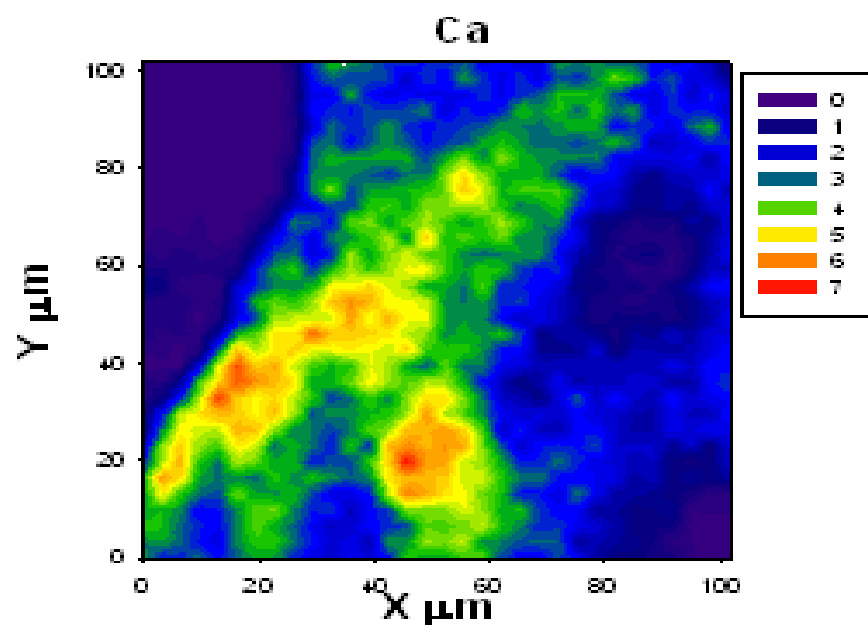


Sample Lh2.s1
 μ PIXE E=3.05 MeV protons
Dresden 03/4/2004

Mapy μ PIXE dla ciemnoniebieskiego pigmentu (Luxor (Medinet Habu) Rameseum (1198-1166 BC)

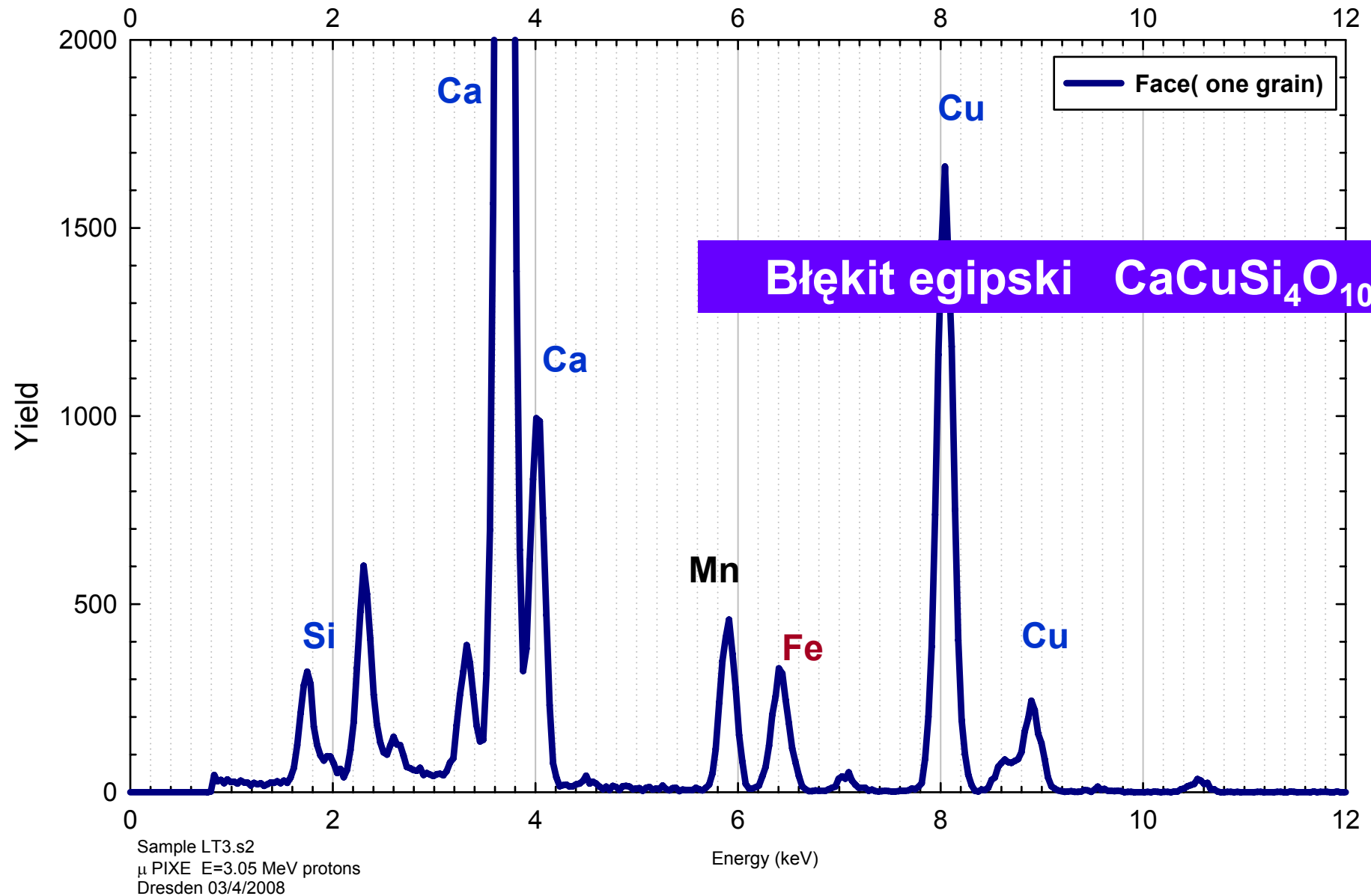


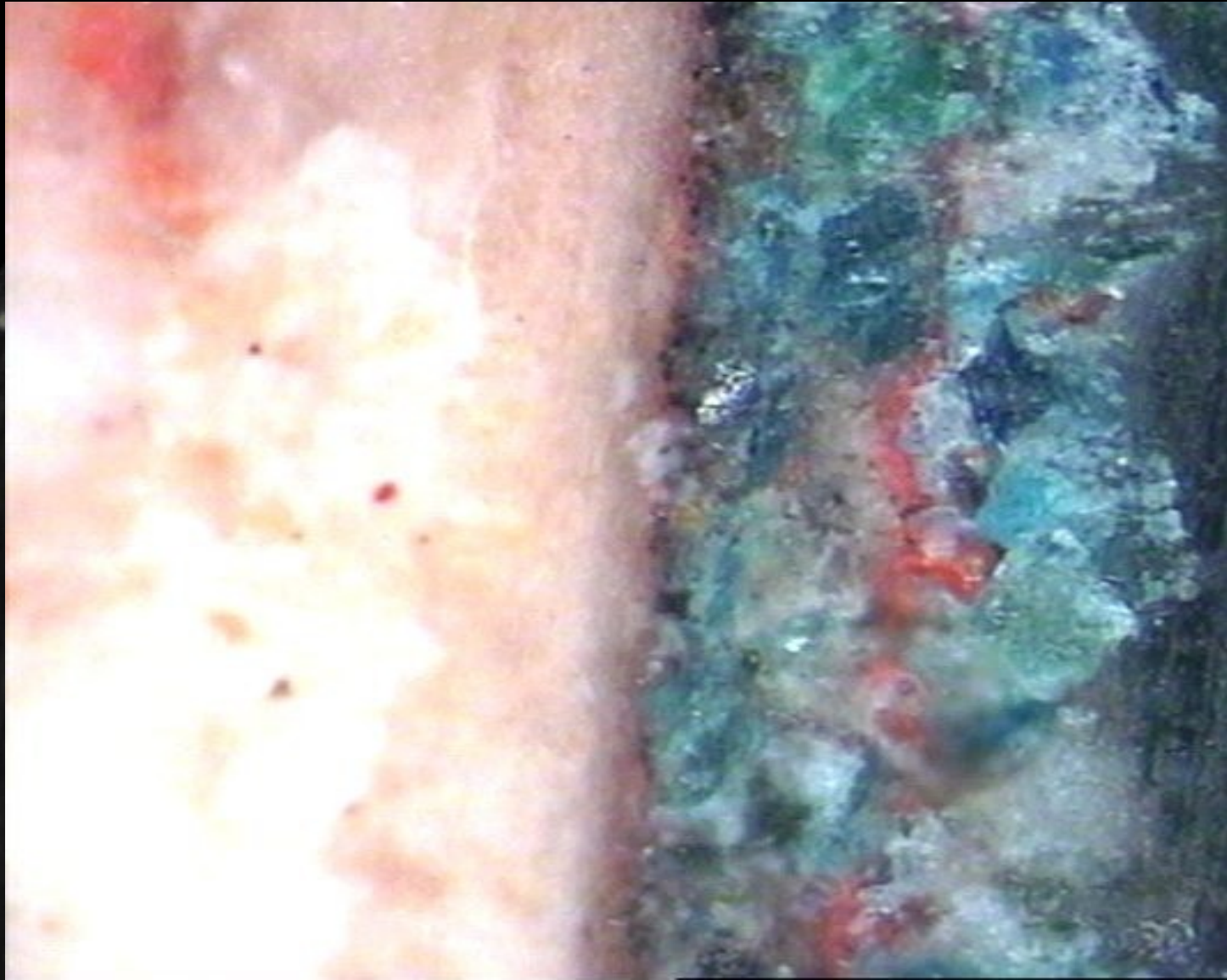
0-511



Struktura czarno-niebieskiej farby

Grobowiec Totmesa III (N.34) 1504 BC





Dzięki zastosowaniu nowoczesnych metody analitycznych potrafimy wiele powiedzieć o strukturze i materiałach używanych w staroegipskich malowidłach ściennych.

Metodyka jest oparta na identyfikacji charakterystycznych sygnałów tzw. *fingerprints* (czyli odcisków palca) i pozwala na uzyskanie wiarygodnych informacji bez przeprowadzania skomplikowanej analizy kompleksowej.

Warto podkreślić, że

nasze badania potwierdziły niezwykle umiejętności starożytnych malarzy, którzy potrafili nie tylko po mistrzowsku poprowadzić kontury obrazu ale również dobrać odpowiedni odcień farby stosując takie techniki jak:

- mieszanie z innymi pigmentami,
- używanie różnych rozmiarów ziaren,
- tworzenie struktur wielowarstwowych.

