



Prezentacja w ramach projektu:

**Centrum badawcze prórodowiskowych i energooszczędnych materiałów  
oraz technologii (CeB MaT)**

dr hab. inż. Krzysztof Pałka, prof. ucz.

[www.pollub.pl](http://www.pollub.pl)

**Plan prezentacji:**

1. Wstęp
2. Procedura zakupu tomografu w ramach projektu CeB MaT
3. Tomografia rentgenowska – podstawy
4. Możliwości badawcze
5. Wyposażenie dodatkowe – stolik Deben
6. Koszty badań





# WYSOKOROZDZIELCZY NANOTOMOGRAF RTG



## 1. Wstęp

Wysokorozdzielczy nanotomograf RTG zakupiony został ze środków projektu  
**„Centrum badawcze próśrodo-wiskowych i energooszczędnych materiałów oraz technologii” (CeB MaT)**

**Numer projektu: POIR.04.02.00-00-D009/20**

Działanie: 4.2 Rozwój nowoczesnej infrastruktury badawczej sektora nauki

Oś priorytetowa: Zwiększenie potencjału naukowo-badawczego

Okres realizacji: 01.02.2021 - 30.11.2023

**Dofinansowanie projektu z UE: 36 274 981,91 PLN**

Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Wojciech Franus

Koszt zakupu nanotomografu: 5 049 888,00 zł



Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2023.



# WYSOKOROZDZIELCZY NANOTOMOGRAF RTG



**„Centrum badawcze próśrodo-wiskowych i energooszczędnych materiałów oraz technologii” (CeB MaT)**

**Numer projektu: POIR.04.02.00-00-D009/20**

**Celem projektu** jest powstanie infrastruktury badawczej, która zakresem badawczym obejmie obszary wiedzy skupione wokół energetyki, inżynierii środowiska, inżynierii materiałowej oraz systemów opto- i mechatronicznych niezbędnych do sterowania procesami technologicznymi.

W ramach utworzonego Centrum prowadzone będą badania eksperymentalne i teoretyczne pozwalające na zdobycie nowej wiedzy z zakresu otrzymywania materiałów o ściśle zdefiniowanych parametrach struktury i właściwościach (implanty, kompozyty, laminaty, sorbenty).

Unikatowe zasoby aparaturowe Centrum pozwolą na prowadzenie zaawansowanych badań o wysokim poziomie innowacyjności ukierunkowanych w szczególności na rozwój przemysłu regionalnego.

**Unikatowość nanotomografu - na poziomie Europejskim.**





## WYSOKOROZDZIELCZY NANOTOMOGRAF RTG



### Najważniejsze wyzwania naukowo-techniczne Centrum:

1. charakterystyka materiałów dla medycyny regeneracyjnej i implantologii w zakresie ich projektowania i wytwarzania,
2. charakterystyka hybrydowych laminatów kompozytowych oraz laminatów metalowo-włóknistych dedykowanych do zastosowań w przemyśle lotniczym, transportowym i medycynie,
3. charakterystyka nowych typów strukturalnych sorbentów i katalizatorów wykorzystywanych w procesach oczyszczania ścieków, gazów i wód przemysłowych, a otrzymanych z odpadów
4. charakterystyka nowej generacji dodatków mineralnych i mineralno-organicznych wykorzystywanych w energooszczędnych technologiach produkcji materiałów budowlanych o podwyższonych właściwościach termoizolacyjnych z wykorzystaniem popiołów lotnych jako prekursorów,
5. charakterystyka funkcjonalnych materiałów stanowiących nośniki wody (np. mezoporowate materiały krzemionkowe, MOF-y, zeolity) w ekologicznych mieszankach mineralno-asfaltowych wytwarzanych w przyjaznych dla środowiska technologiach na ciepło.



## WYSOKOROZDZIELCZY NANOTOMOGRAF RTG



### Aparatura zakupiona lub przewidziana do zakupu w ramach projektu:

- system mikroskopowy TEM/SEM
- uniwersalny symulator procesów termomechanicznych
- **wysokorozdzielczy nanotomograf RTG**
- aparatura do charakteryzowania biomasy
- zgasowarka biomasy zwierzęcej
- zestaw analizatorów gazów
- zestaw do badania czujników i algorytmów
- układ do wytwarzania światłowodów do czujników fotonicznych
- układ do wytwarzania czujników fotonicznych
- drukarka z wymiennymi głowicami do nanoszenia masek na podłożu
- tandemowy spektrometr mas typu Q-TOF z analizatorem czasu przelotu
- układ do badań efektywności obróbki wstępnej i fermentacji biomasy
- spektrometr do badań próbek stałych i ciekłych, metodami spektroskopii FT-IR oraz FT – Raman





## WYSOKOROZDZIELCZY NANOTOMOGRAF RTG



Polska Mapa  
Infrastruktury  
Badawczej



Centrum badawcze próśrodkowiskowych i energooszczędnych materiałów oraz technologii wpisane zostało na Polską Mapę Infrastruktury Badawczej decyzja nr DIR/PMIB/2020/III z dn. 02.07.2020 r. Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

CeB MaT znajduje się na liście strategicznych infrastruktury badawczych w 1 obszarze badań: Nauka techniczna i energetyka.

Politechnika Lubelska pozyskała dofinansowanie na ten cel w ramach Działania 4.2, Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój.



## WYSOKOROZDZIELCZY NANOTOMOGRAF RTG



### Plan prezentacji:

1. Wstęp
2. Procedura zakupu tomografu w ramach projektu CeB MaT
3. Tomografia rentgenowska – podstawy
4. Możliwości badawcze
5. Wyposażenie dodatkowe – stolik Deben
6. Koszty badań



## Procedura zakupu

W ramach procedury zakupu, na początku 2021 roku zaproszono kilka firm do udziału w testach:

- Bruker (COMEF Sp. z o.o. sp.k.)
- Carl Zeiss Sp. z o.o.
- Rigaku Polska Sp. z o.o.
- Nikon (Optotom Tomasz Sykuła)
- Waygate Technologies (dawniej GE) (ITA sp. z o.o. sp.k.)

## Procedura zakupu

Po wstępnych rozmowach i przeprowadzonych testach wybór ograniczono do dwóch firm /urzędzeń:

**Skyscan 2214, Bruker**



**Xradia 510 Versa, Zeiss**



## Wymagania:

- osiągana rozdzielczość przestrzenna 200 nm lub mniej,
- rozdzielczość przestrzenna przy odległości osi obrotu próbki od źródła RTG co najmniej 50 mm – nie gorsza niż 1,0  $\mu\text{m}$ ;
- źródło promieniowania RTG o minimalnym zakresie napięć 30-160 kV, moc min. 10 W; minimalny czas pracy 4000 godz.;
- obrazowanie w trybie kontrastu absorpcyjnego,
- obrazowanie w trybie kontrastu fazowego,
- zestaw filtrów do dostrajania widma energii,
- detektor typu flat panel o matrycy min. 6 Mpix i polu obrazowania: min. średnica próbki 140 mm, min wysokość 90 mm;
- detektor CCD o matrycy min. 4 Mpix, umożliwiający uzyskanie obrazu o rozdzielczości co najmniej 20  $\mu\text{m}$  przy polu widzenia min. 45 mm
- detektor CCD o matrycy min. 4 Mpix, umożliwiający uzyskanie obrazu o rozdzielczości co najmniej 0,2  $\mu\text{m}$
- komora umożliwiająca skanowanie próbek o minimalnej średnicy 300 mm i min. wysokości 300 mm,
- stolik próbki z dokładnością pozycjonowania nie gorszą niż 50 nm w każdej z trzech osi: X, Y i Z oraz nie gorszą niż 0,001 stopnia w osi obrotu,
- stolik próbki zapewniający skanowanie elementów o masie co najmniej 20 kg
- zintegrowana podstawa stolika próbek odporna na wibracje
- dotatkowy stolik do badań materiałowych w trybie ściskania/rozciągania/zginania próbek, max siła nie niższa niż 5 kN**

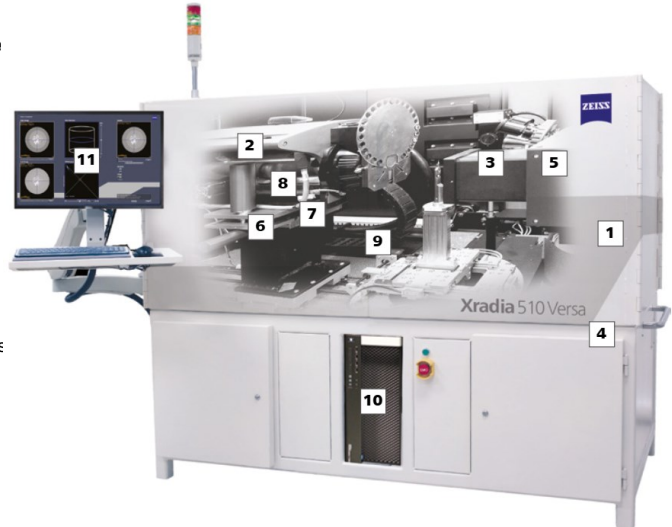
## Co dostaliśmy w tomografie Zeiss Xradia 510 Versa:

- rozdzielczość maksymalna 70 nm**
- źródło promieniowania RTG 30-160 kV, moc 10 W;
- obrazowanie w trybie kontrastu absorpcyjnego,
- obrazowanie w trybie kontrastu fazowego,**
- zestaw 12 filtrów **amorficznych** do dostrajania widma energii,
- detektor typu flat panel o matrycy 6 Mpix
- detektor CCD o matrycy 4 Mpix,
- 4 obiektywy optyczne zintegrowane ze scyntylatorami: 0,4x, 4x, 20x
- skanowanie próbek o średnicy do 200 mm i wysokości do 300 mm,
- stolik próbki z dokładnością pozycjonowania 50 nm w każdej z trzech osi: X, Y i Z oraz 0,001 stopnia w osi obrotu,
- skanowanie elementów o masie do 30 kg
- zintegrowana podstawa - płyta granitowa, odporna na wibracje
- stolik do badań materiałowych Deben CT5000TEC**  
**ściskanie/rozciąganie/zginanie, max siła 5 kN, możliwość grzania / chłodzenia -20C do +160C – unikalność w skali Europy**

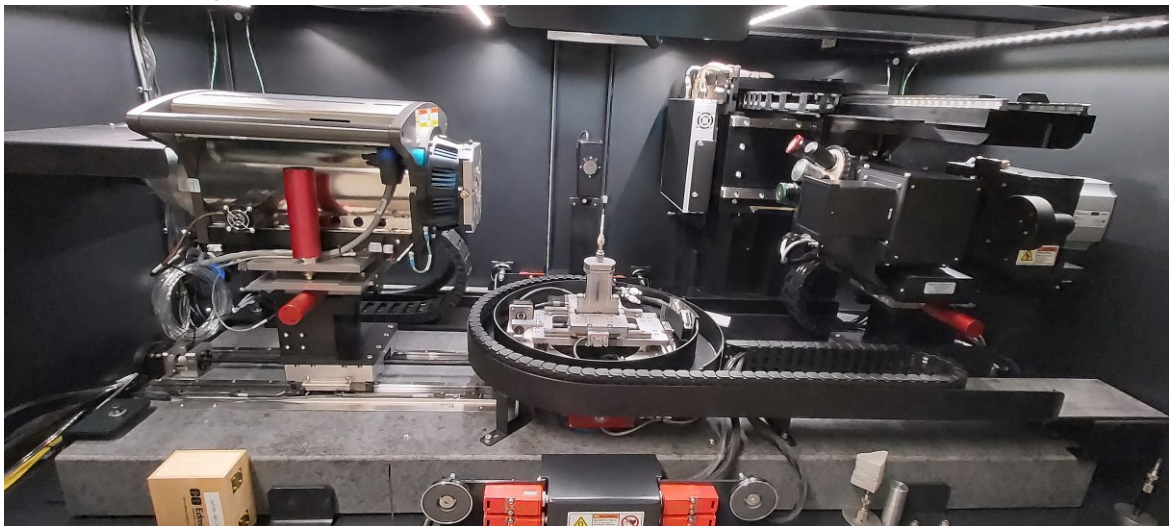


## Co jest wewnątrz tomografu Zeiss Xradia 510 Ve

1. Tomograf
2. Źródło promieniowania RTG
3. Detektory
4. System stabilizacji dla uzyskania wysokiej rozdzielczości
5. Kamera CCD
6. Autoloader próbek i filtrów
7. Stolik próbki
8. Filtry RTG
9. Stolik In situ
10. Stacja robocza – kontrola skanu i rekonstrukcja
11. Oprogramowanie:
  - Akwizycja: ZEISS Cradia Scout-and-Scan Contro Sys
  - Rekonstrukcja: ZEISS Xradia XRM Reconstructor
  - Podgląd: ZEISS Xradia XM3DViewer
  - Analiza i wizualizacja: ORS Dragonfly Pro



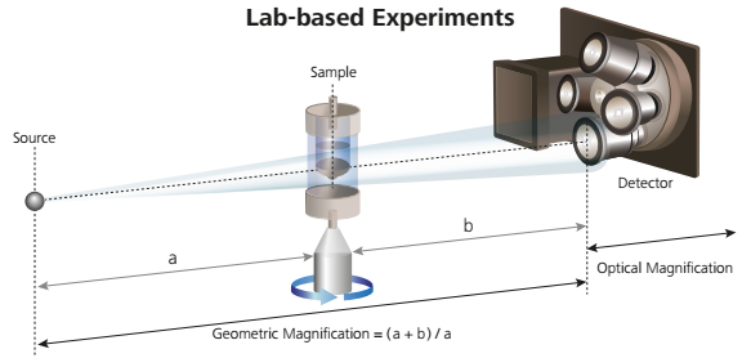
## Co jest wewnątrz tomografu Zeiss Xradia 510 Versa?





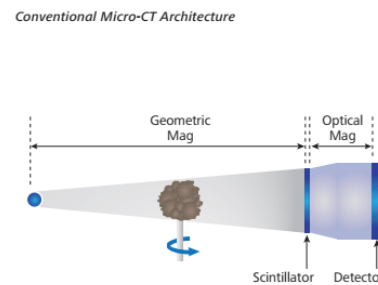
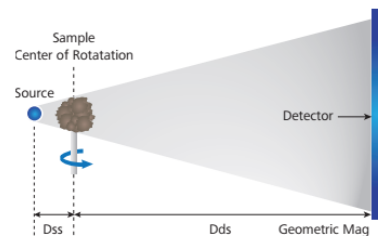
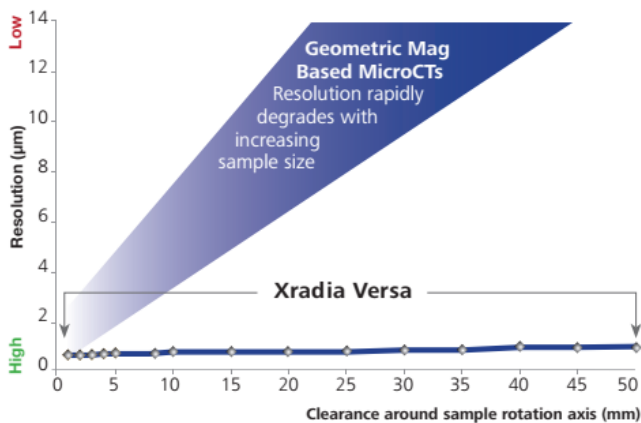
## Zeiss Xradia 510 Versa – mocne strony

- obrazowanie w trybie kontrastu absorpcyjnego,
- obrazowanie w trybie kontrastu fazowego,
- powiększenie geometryczne i optyczne
- zestaw amorficznych filtrów
- oprogramowanie analityczne (Dragonfly)



## Zeiss Xradia 510 Versa – mocne strony

- obrazowanie w trybie kontrastu absorpcyjnego,
- obrazowanie w trybie kontrastu fazowego,
- powiększenie geometryczne i optyczne
- zestaw amorficznych filtrów
- oprogramowanie (Dragonfly)





## Zeiss Xradia 510 Versa – mocne i słabe strony

### 1. Źródło transmisyjne RTG:

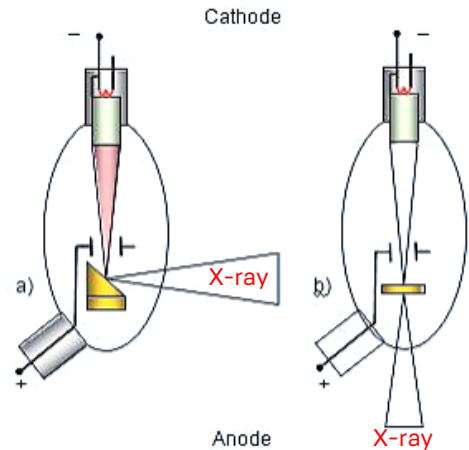
- mniejsza żywotność w stosunku do źródła odbiciowego,
- wymagane stałe zasilanie ze względu na utrzymanie próżni,
- mniejszy spot size, niezależny od czasu pracy źródła = wyższa rozdzielczość przy wyższej mocy = krótszy czas skanu

### 2. Mikroskop rentgenowski:

- możliwość uzyskania dużej rozdzielczości przy dużych rozmiarach próbki (dużej odległości próbka – detektor)

### 3. Stacja robocza i oprogramowanie

- czas rekonstrukcji nie większy niż 3 min. dla 1000 projekcji o rozdzielczości 2000 x 2000 pikseli
- eksport danych kompatybilnych z innymi systemami
- zintegrowane moduły do wizualizacji i analiz (all in one)



## Plan prezentacji:

1. Wstęp
2. Procedura zakupu tomografu w ramach projektu CeBMaT
3. Tomografia rentgenowska – podstawy
4. Możliwości badawcze
5. Wyposażenie dodatkowe – stolik Deben
6. Koszty badań



**Podstawy tomografii**

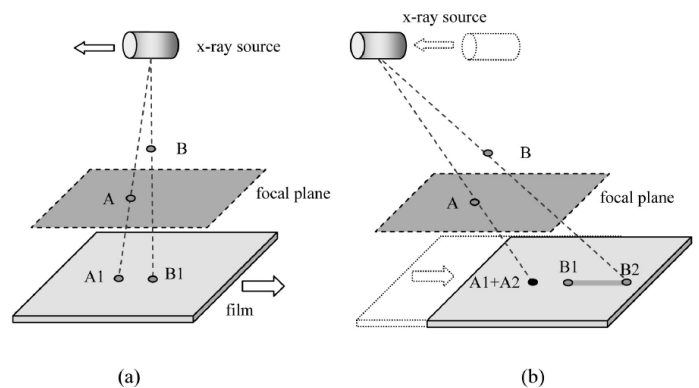

**Figure 1.1** Illustration of conventional x ray. (a) Acquisition setup and (b) example of a chest study.

Hsieh J.: Computed tomography : principles, design, artifacts, and recent advances. 2nd ed. SPIE & John Wiley & Sons, Inc., 2009

**Tomografia** to „radiologiczna technika uzyskiwania zdjęć (rentgenowskich) struktur wewnętrznych poprzez skupienie się na określonej płaszczyźnie w ciele, w celu uzyskania obrazu przekroju. Umożliwia badanie struktur, które, przesłonięte przez narządy i tkanki miękkie, nie są widoczne na konwencjonalnych obrazach rentgenowskich” (Webster dictionary)

**Ilustracja zasady konwencjonalnej tomografii:**

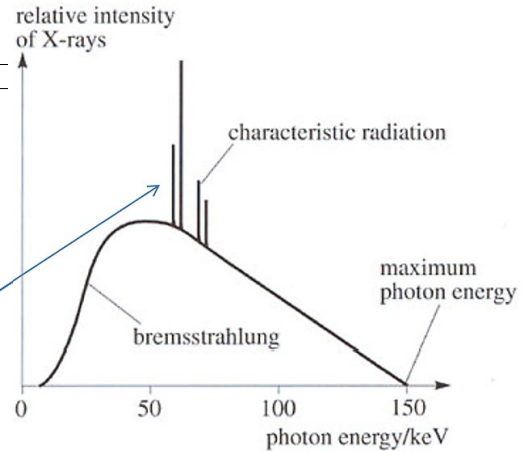
- źródło promieniowania rentgenowskiego wytwarza cienie A1 i B1 punktów A i B w pierwotnej pozycji,
- źródło promieniowania rentgenowskiego i detektor poruszają się wzajemnie tak, że cień A2 punktu A zachodzi na cień A1, ale cień B2 punktu B nie nakłada się na B1



Yuan G.: Lectures on Computed Tomography. Hong Kong University of Science and Technology

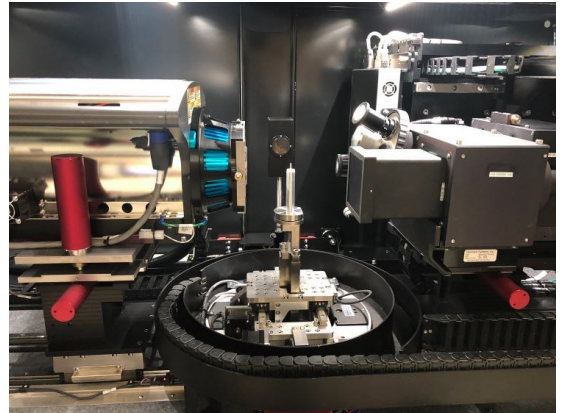
## Podstawy tomografii

Element	$K\alpha_1$	$K\alpha_2$	$K\beta_1$	$L\alpha_1$	$L\alpha_2$	$L\beta_1$	$L\beta_2$	$L\gamma$	$M\alpha_1$
63 Eu	41,542.2	40,901.9	47,037.9	5,845.7	5,816.6	6,456.4	6,843.2	7,480.3	1,131
64 Gd	42,996.2	42,308.9	48,697	6,057.2	6,025.0	6,713.2	7,102.8	7,785.8	1,185
65 Tb	44,481.6	43,744.1	50,382	6,272.8	6,238.0	6,978	7,366.7	8,102	1,240
66 Dy	45,998.4	45,207.8	52,119	6,495.2	6,457.7	7,247.7	7,635.7	8,418.8	1,293
67 Ho	47,546.7	46,699.7	53,877	6,719.8	6,679.5	7,525.3	7,911	8,747	1,348
68 Er	49,127.7	48,221.1	55,681	6,948.7	6,905.0	7,810.9	8,189.0	9,089	1,406
69 Tm	50,741.6	49,772.6	57,517	7,179.9	7,133.1	8,101	8,468	9,426	1,462
70 Yb	52,388.9	51,354.0	59,370	7,415.6	7,367.3	8,401.8	8,758.8	9,780.1	1,521.4
71 Lu	54,069.8	52,965.0	61,283	7,655.5	7,604.9	8,709.0	9,048.9	10,143.4	1,581.3
72 Hf	55,790.2	54,611.4	63,234	7,899.0	7,844.6	9,022.7	9,347.3	10,515.8	1,644.6
73 Ta	57,532	56,277	65,223	8,146.1	8,087.9	9,343.1	9,651.8	10,895.2	1,710
74 W	59,318.24	57,981.7	67,244.3	8,397.6	8,335.2	9,672.35	9,961.5	11,285.9	1,775.4
75 Re	61,140.3	59,717.9	69,310	8,652.5	8,586.2	10,010.0	10,275.2	11,685.4	1,842.5
76 Os	63,000.5	61,486.7	71,413	8,911.7	8,841.0	10,355.3	10,598.5	12,095.3	1,910.2
77 Ir	64,895.6	63,286.7	73,560.8	9,175.1	9,099.5	10,708.3	10,920.3	12,512.6	1,979.9
78 Pt	66,832	65,112	75,748	9,442.3	9,361.8	11,070.7	11,250.5	12,942.0	2,050.5
79 Au	68,803.7	66,989.5	77,984	9,713.3	9,628.0	11,442.3	11,584.7	13,381.7	2,122.9
80 Hg	70,819	68,895	80,253	9,988.8	9,897.6	11,822.6	11,924.1	13,830.1	2,195.3
81 Tl	72,871.5	70,831.9	82,576	10,268.5	10,172.8	12,213.3	12,271.5	14,291.5	2,270.6



Carl Zeiss X-Ray Microscopy

## Tomografy medyczne i laboratoryjne



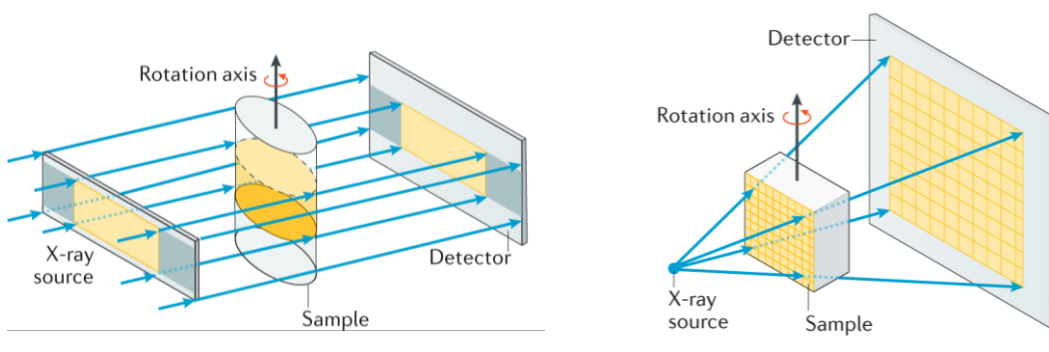
**Dopuszczalna dawka to 3mSv/rok (tłó ok. 0,01  $\mu$ Sv/h=86,4 $\mu$ Sv/rok)**

**Badanie RTG ręki to dawka rzędu 0,001 mSv, badanie odcinka łędźwiowego kręgosłupa to już wartość 1 mSv.**

Ryzyko zachorowania na choroby nowotworowe obserwowane jest przy dawkach powyżej 100 mSv.

Luxmed Lublin

## Obrazowanie wiązką równoległą i stożkową



Withers, P.J., Bouman, C., Carmignato, S. et al. X-ray computed tomography. Nat Rev Methods Primers 1, 18 (2021).

## Plan prezentacji:

1. Wstęp
2. Procedura zakupu tomografu w ramach projektu CeBMaT
3. Tomografia rentgenowska – podstawy
4. **Możliwości badawcze**
5. Wyposażenie dodatkowe – stół Deben
6. Koszty badań



## Typical x-ray penetration depths for the Hamamatsu Microfocus X-ray source assuming a 100 keV accelerated x-ray. and 33% transmission

Program reference: P. Bandyopadhyay and C.U. Segre, <http://www.csrii.it.edu/mucal.html>.

Calculations are based on data from: W.H. McMaster N.K. Del Grande, J.H. Mallett and J.H. Hubbell, "Compilation of x-ray cross sections", Lawrence Livermore National Laboratory Report UCRL-50174 (section I 1970, section II 1969, section III 1969 and section IV 1969).

1	1																	18
1	H																	2
2	3	4															10	
	Li	Be															Ne	
	14 cm	4 cm																
3	11	12	13	14	15	16	17								18			
	Na	Mg	B	C	N	O	F	Ne										
	6.4 cm	3.37 cm	3.08 cm	2.938 cm														
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
	5.06 cm	2.51 cm	1.33 cm	0.812 cm	0.574 cm	0.44 cm	0.40 cm	0.367 cm	0.292 cm	0.264 cm	0.246 cm	0.286 cm	0.334 cm	0.35 cm	0.301 cm	0.330 cm	0.467 cm	
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
	0.85 cm	0.475 cm	0.245 cm	0.162 cm	0.112 cm	876 μm	761 μm	663 μm	620 μm	615 μm	651 μm	760 μm	843 μm	0.113 cm	828 μm	903 μm	0.103 cm	
6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	Cs	Ba	La-Lu lanthanide	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
	0.255 cm	0.129 cm		180 μm	142 μm	116 μm	101 μm	94 μm	93 μm	95 μm	101 μm	143 μm	155 μm	161 μm	175 μm			16.8 cm
7	87	88	89-103	104	105	106	107	108	109									
	Fr	Ra	Ac-Lr Actinide	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									

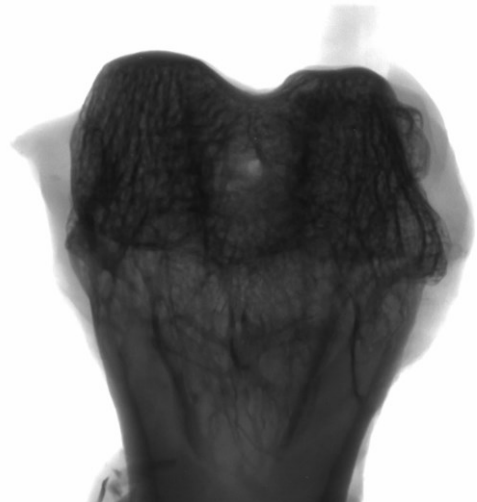
Carl Zeiss X-Ray Microscopy

Inteligentny Rozwój

Rozwoju Regionalnego

### Skan:

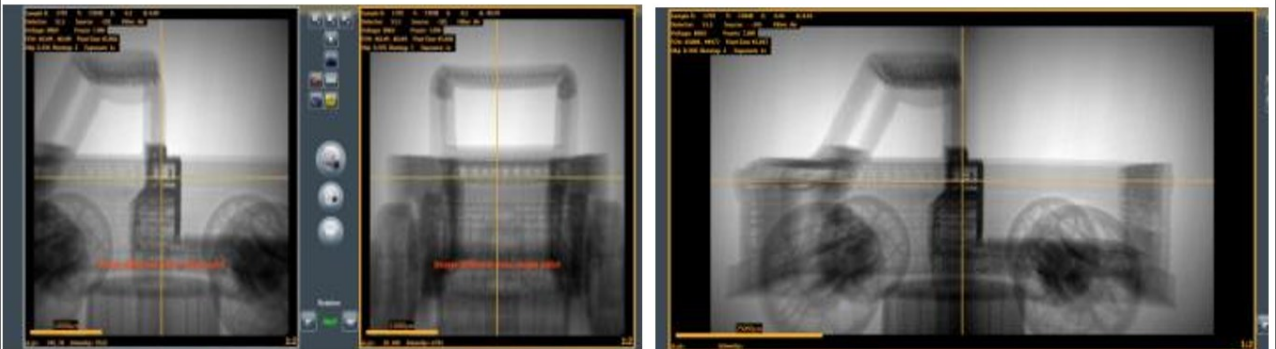
- 180° lub 360°, krok min. 0,2°, **im mniejszy krok tym lepiej, ale zwiększa się czas skanu**
- uśrednianie obrazów
- *random movement* (eliminacja artefaktów ringowych)
- wymagana rozdzielczość



## Skan

Obiektów	Wielkość próbki (Maksimum*) [mm]	Maksimum 3D FOV (WFM) [mm]	Wielkość voksela [ $\mu\text{m}$ ]
FPX	15 – 140 (200*)	140	6 – 57
0,4X	6 – 50 (100*)	50 (90)	3 – 30
4X	2 – 20 (50*)	6 (10)	0,7 – 3
20X	0,5 – 4,0 (10*)	1,1	0,3 – 0,6

## Skan – wide field mode

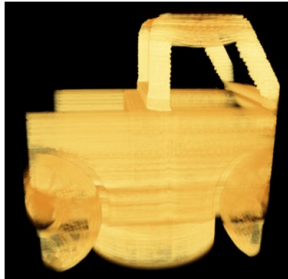
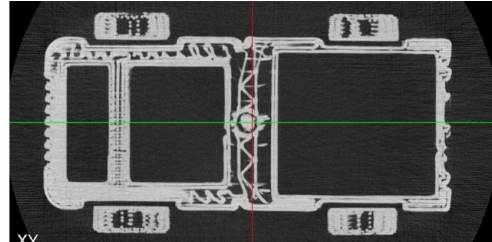
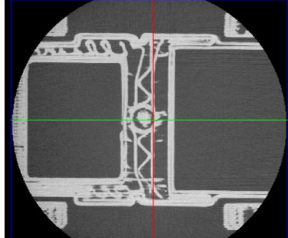




**Skan – wide field mode**

NFM: 45 mm; 45 µm/vox

WFM: ~ 86 mm; 45 µm/vox



Carl Zeiss X-Ray Microscopy

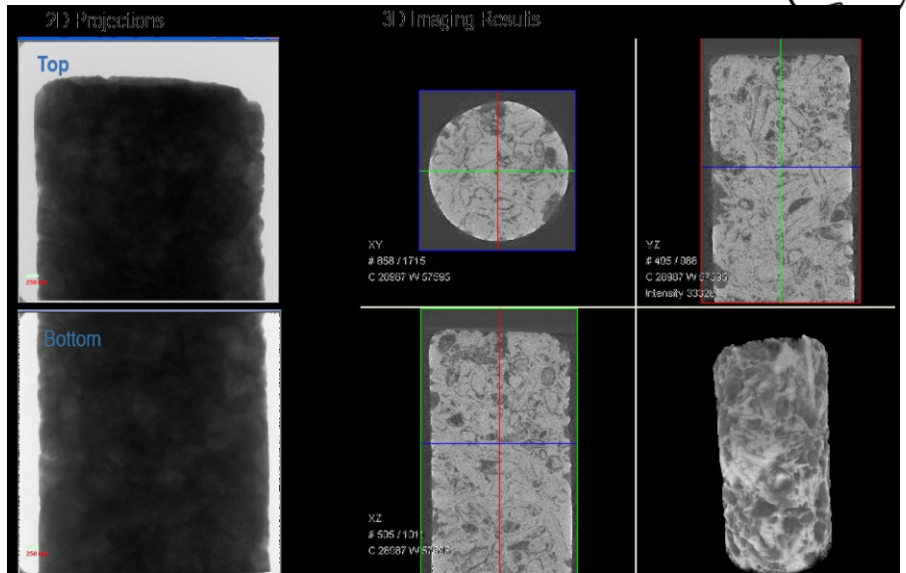
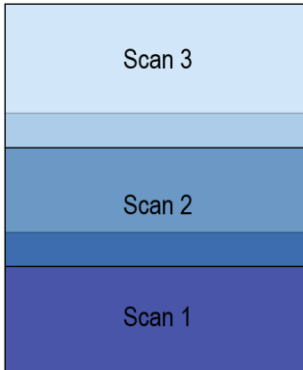


Rzeczpospolita  
Polska

Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



**Skan – vertical stitching**



Carl Zeiss X-Ray Microscopy



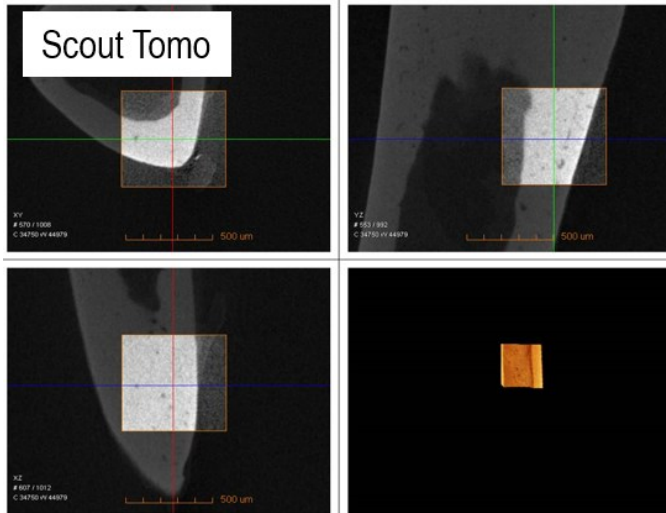
Rzeczpospolita  
Polska

Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



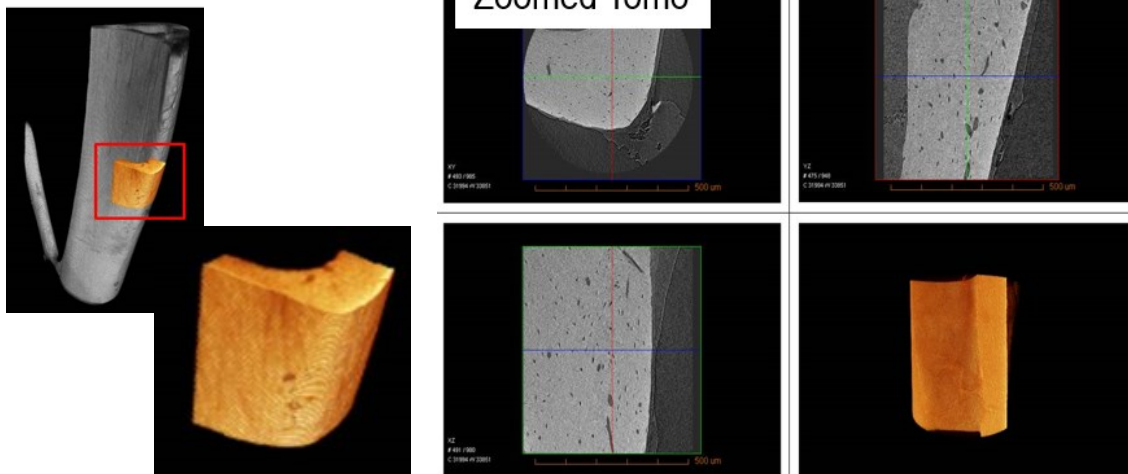


Skan – scout and zoom



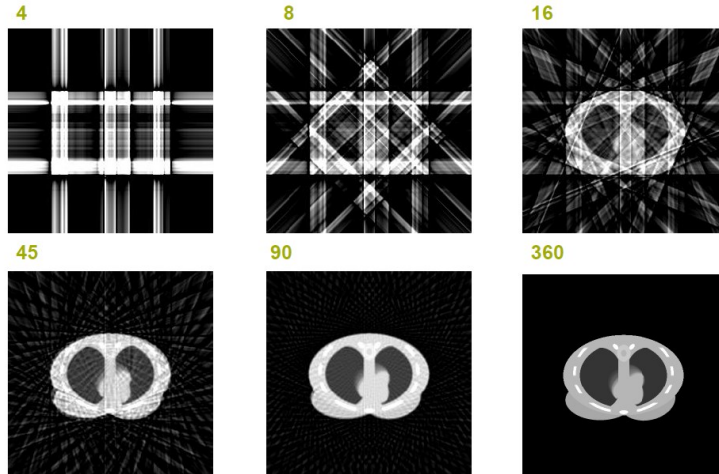
Carl Zeiss X-Ray Microscopy

Skan – scout and zoom



Carl Zeiss X-Ray Microscopy

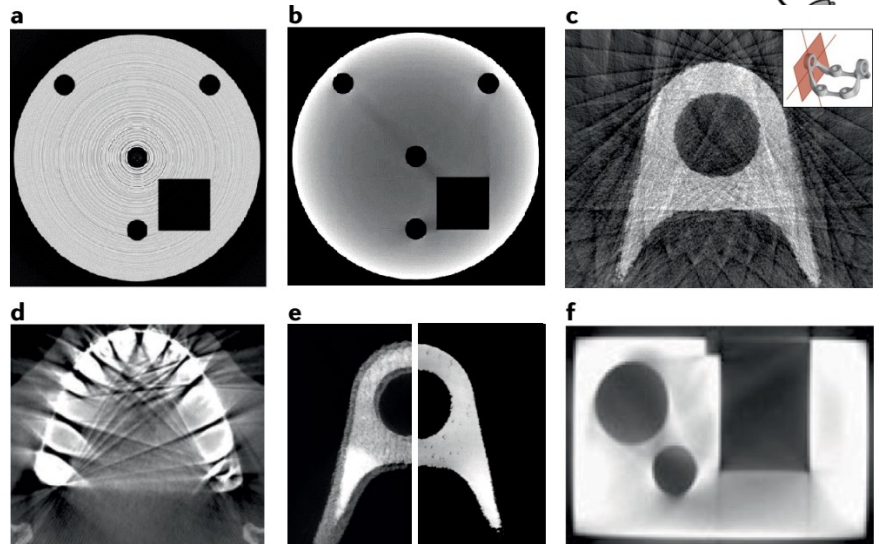
## Skan – dlaczego tak duża liczba projekcji ?



Noël P.B.: Computed Tomography and Reconstruction. Department of Radiology Technische Universität München

## Rekonstrukcja – błędy:

- artefakty ringowe
- beam hardening
- mała liczba projekcji
- artefakty smugowy – efekt obecności materiałów o dużej Z, tu: amalgamat
- poruszenie obiektu
- nieprawidłowy *center shift*

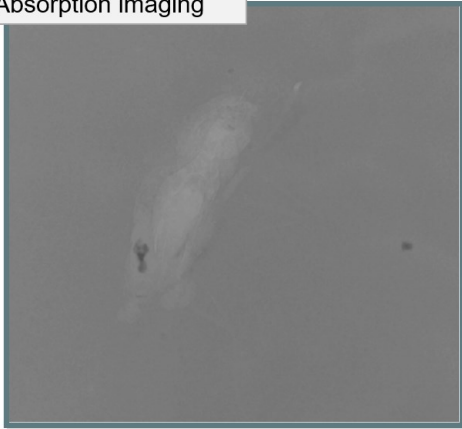


Withers, P.J., Bouman, C., Carmignato, S. et al. X-ray computed tomography. Nat Rev Methods Primers 1, 18 [2021].

## Problemy:

1. mała różnica składu chemicznego

Absorption imaging



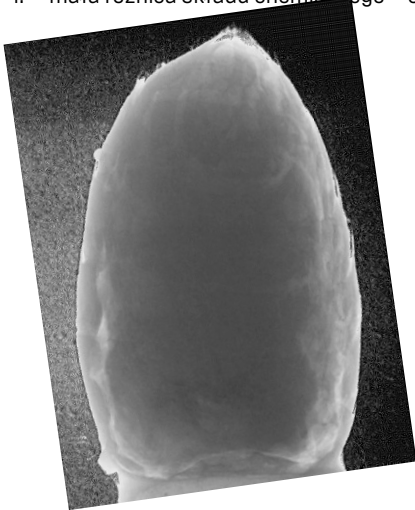
Courtesy: Andrew McNeil, University of Manchester

Absorption + phase contrast imaging

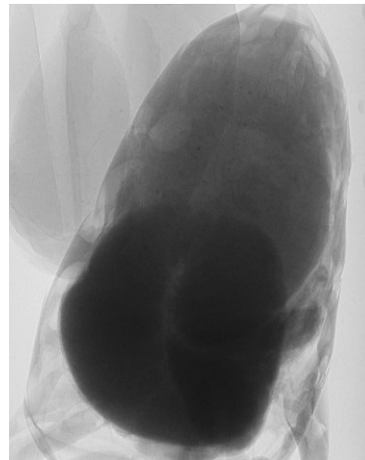


## Problemy:

1. mała różnica składu chemicznego – odwłok pszczoły

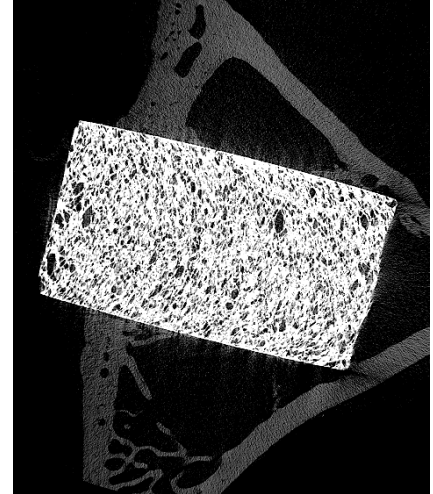
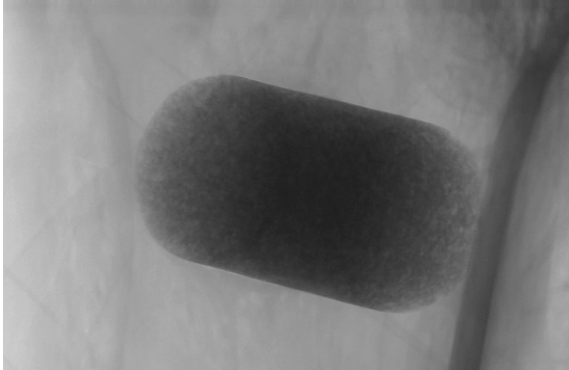


kontrast  
RTG

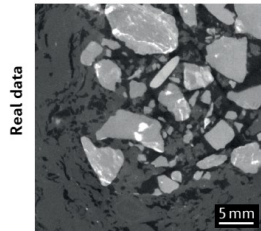
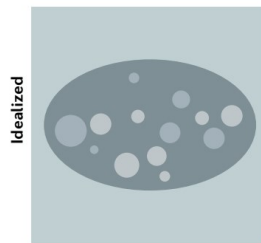


**Problemy:**

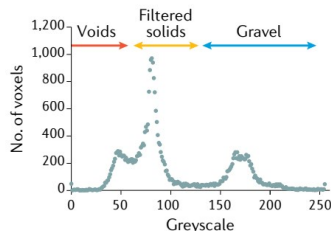
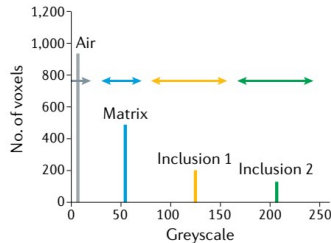
1. duża różnica składu chemicznego – np. implant Ti w kości udowej królika  
czas skanu 14 godzin



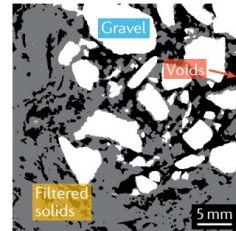
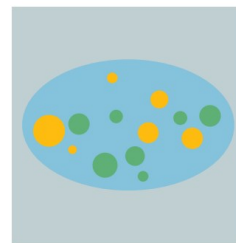
**a Reconstructed slice**



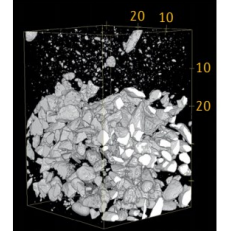
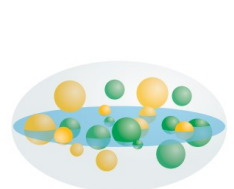
**b Image histogram**



**c Segmented slice**

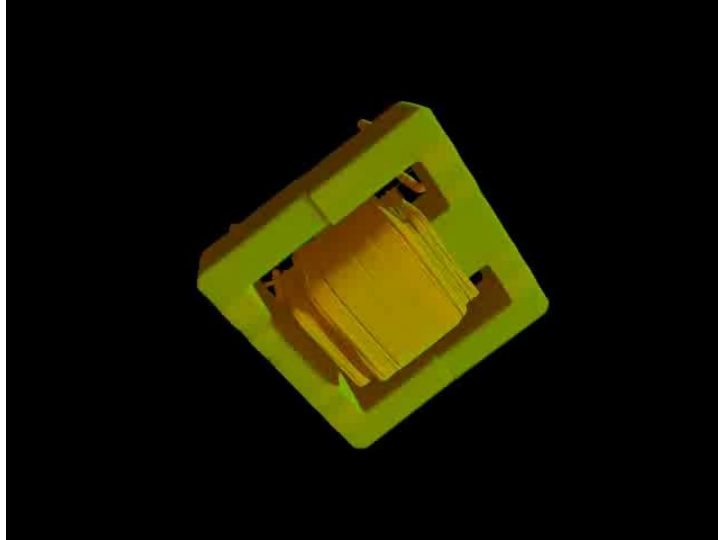


**d 3D rendering**



Withers, P.J., Bouman, C., Carmignato, S. et al. X-ray computed tomography. Nat Rev Methods Primers 1, 18 (2021).

## Wizualizacja i analizy 2D i 3D



Dańczak M., Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK), Technische Universität Dresden

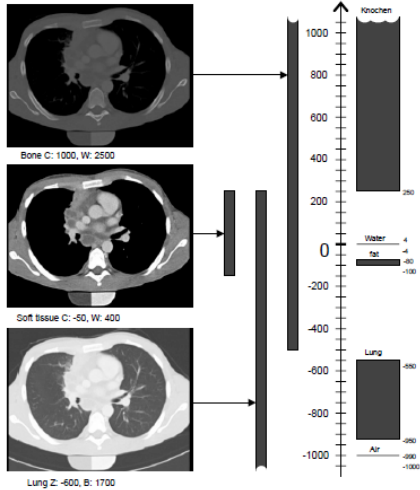
## Wizualizacja i analizy 2D i 3D

2D integrated analysis of all objects in VOI (all selected image levels, line-by-line)			2D individual analysis of all objects in the ROI (from the single current image level only)		
Crosssectional thickness	Cs.Th	mm	Product of inertia	pl	mm <sup>2</sup>
Structure thickness (plate model)	St.Th(pl)	mm	Minimum principal moment of inertia	MMI(min)	mm <sup>4</sup>
Structure separation (plate model)	St.Sp(pl)	mm	Maximum principal moment of inertia	MMI(max)	mm <sup>4</sup>
Structure linear density (plate model)	St.Li.Dn(pl)	mm <sup>-1</sup>	Major axis	Ma	mm
Structure diameter (rod model)	Tb.Dm(rd)	mm	Minor axis	Mi	mm
Structure separation (rod model)	Tb.Sp(rd)	mm	Major diameter	d(max)	mm
Structure linear density (rod model)	St.Li.Dn(rd)	mm <sup>-1</sup>	Minor diameter	d(min)	mm
Mean fragmentation index	Fr.I	mm <sup>-1</sup>	Aspect ratio	AR	
Closed porosity (percent)	Po(cl)	%	Mean Thickness	Av.Th	mm
Centroid (x)	Crd.X	mm			
Centroid (y)	Crd.Y	mm			
Centroid (z)	Crd.Z	mm			
Mean fractal dimension	FD				
Total intersection surface	i.S	mm <sup>2</sup>			

3D integrated analysis of all objects in VOI (all selected image levels)			3D individual analysis of all objects in the VOI (over all selected image levels)		
Parameter	Symbol	Unit	Parameter	Symbol	Unit
VOI volume	TV	mm <sup>3</sup>	Object volume	Obj.V	mm <sup>3</sup>
Object volume	Obj.V	mm <sup>3</sup>	Object surface	Obj.S	mm <sup>2</sup>
Percent object volume	Obj.V/TV	%	Volume of pores	Po.V	mm <sup>3</sup>
VOI surface	TS	mm <sup>2</sup>	Porosity	Po	%
Object surface	Obj.S	mm <sup>2</sup>	Number of pores	N.Po	
Intersection surface	i.S	mm <sup>2</sup>	Centroid x	Crd.X	mm
Object surface / volume ratio	Obj.S/Obj.V	mm <sup>-1</sup>	Centroid y	Crd.Y	mm
Object surface density	Obj.S/TV	mm <sup>-1</sup>	Centroid z	Crd.Z	mm
Fragmentation index	Fr.I	mm <sup>-1</sup>			
Centroid (x)	Crd.X	mm			
Centroid (y)	Crd.Y	mm			
Centroid (z)	Crd.Z	mm			
Structure model index	SMI				
Structure thickness	St.Th	mm			
Structure linear density	St.Li.Dn	mm			
Structure separation	St.Sp	mm <sup>-1</sup>			
Degree of anisotropy	DA				
Eigenvalue 1					
Eigenvalue 2					
Eigenvalue 3					
Fractal dimension	FD				
Number of objects	Obj.N				
Number of closed pores	Po.N(cl)				
Volume of closed pores	Po.V(cl)	mm <sup>3</sup>			
Closed porosity (percent)	Po(cl)	%			
Volume of open pore space	Po.V(op)	mm <sup>3</sup>			
Open porosity (percent)	Po(op)	%			
Total volume of pore space	Po.V(tot)	mm <sup>3</sup>			
Total porosity (percent)	Po(tot)	%			



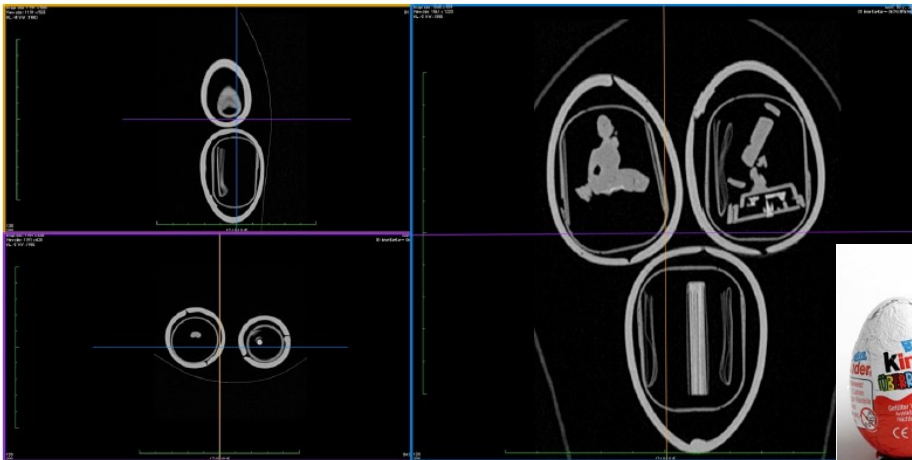
## Analizy: Hounsfield units, BMD



- Water 0HU
- air -1000HU
- Soft tissues: -100HU~60HU
- Cortical bone: 250HU~1000HU

$$HU - Wert = \left( \frac{\mu_x - \mu_{water}}{\mu_{water}} \right) \times 1000HU$$

## Ciekawostka – co to jest ?



## Plan prezentacji:

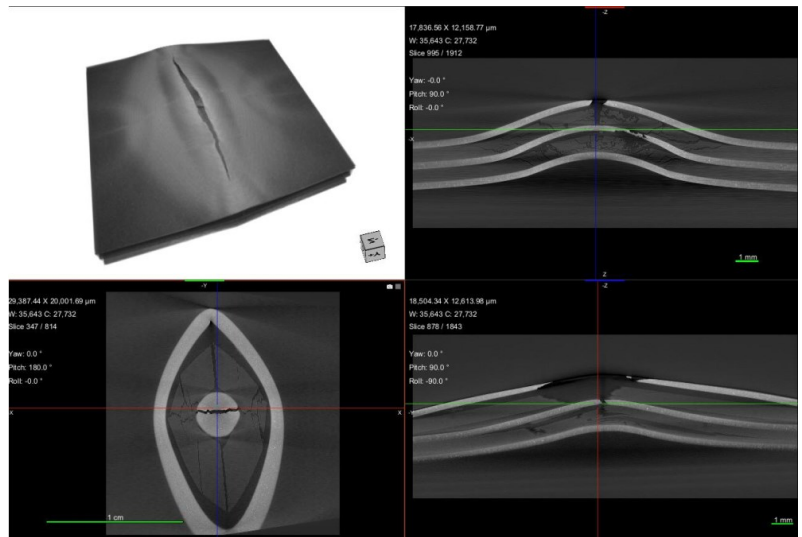
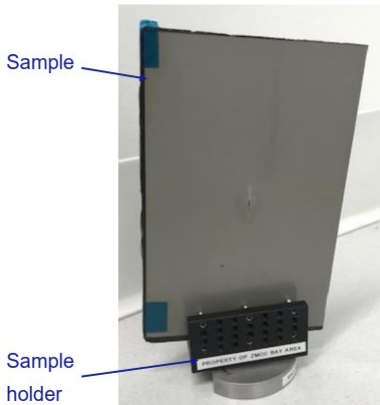
1. Wstęp
2. Procedura zakupu tomografu w ramach projektu CeBMaT
3. Tomografia rentgenowska – podstawy
4. **Możliwości badawcze – przykłady skanów**
5. Wyposażenie dodatkowe – stół Deben
6. Koszty badań



## Przykłady skanów:

### 1. FML

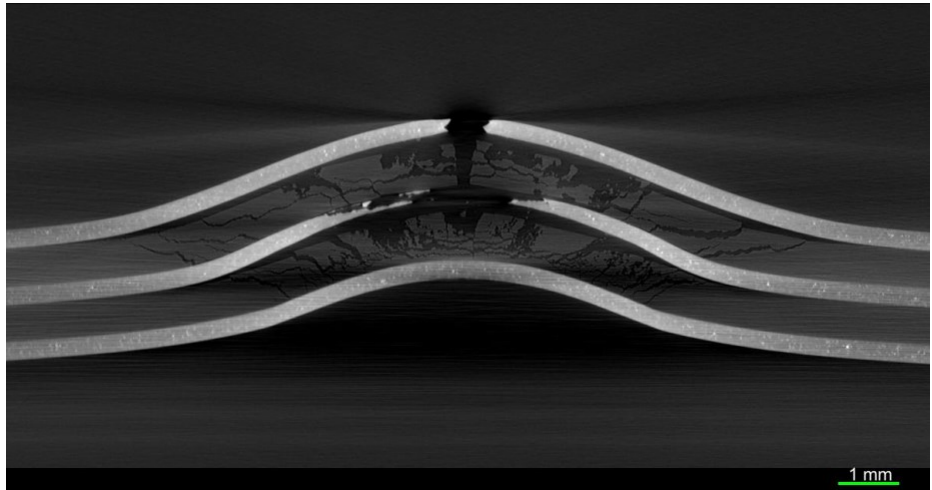
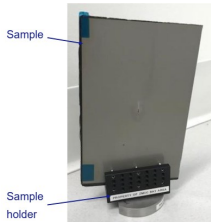
voxel size: 9,3  $\mu\text{m}$   
czas skanu 4 godz.





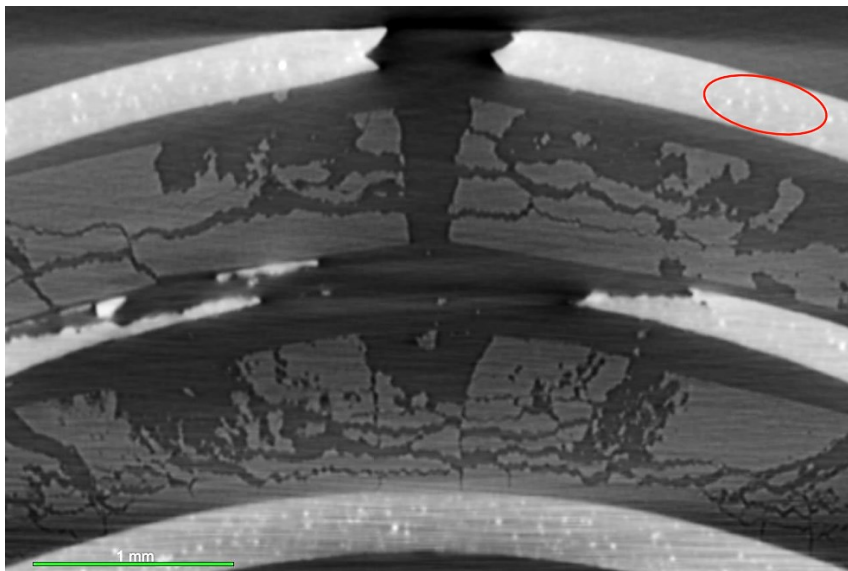
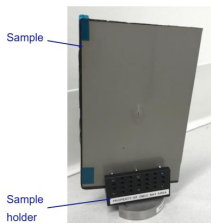
## 1. FML

voxel size: 9,3  $\mu\text{m}$   
czas skanu 4 godz.



## 1. FML

voxel size: 9,3  $\mu\text{m}$   
czas skanu 4 godz.





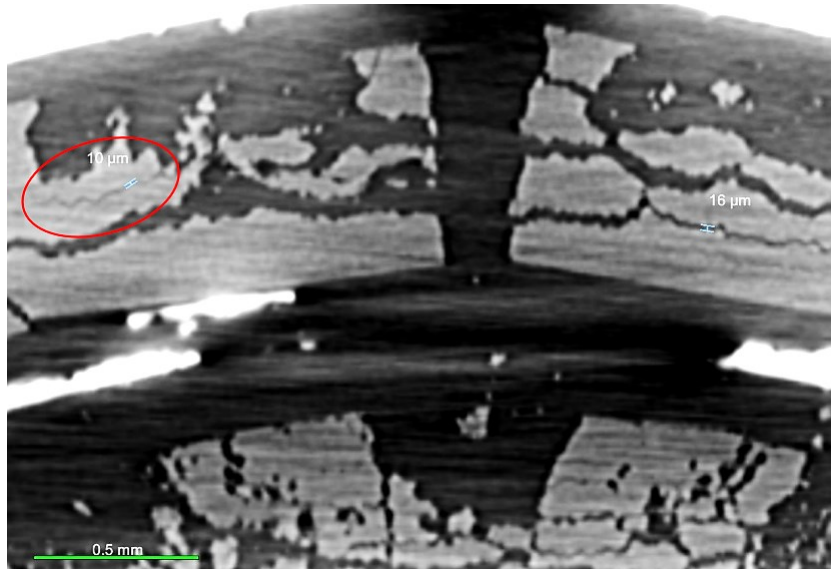
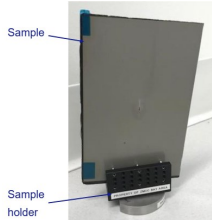
POLITECHNIKA  
LUBELSKA  
WYDZIAŁ  
MECHANICZNY

## WYSOKOROZDZIELECY NANTOMOGRAF RTG



### 1. FML

voxel size: 9,3  $\mu\text{m}$   
czas skanu 4 godz.



Fundusze  
Europejskie  
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita  
Polska

Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



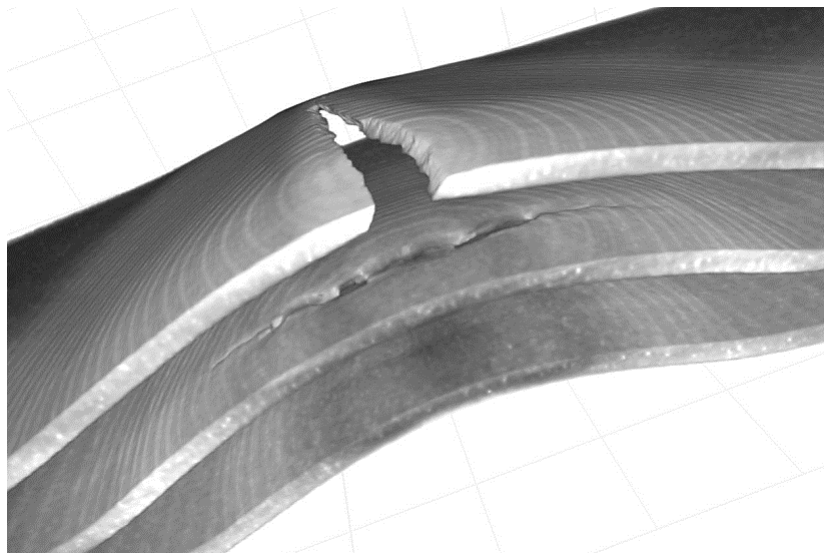
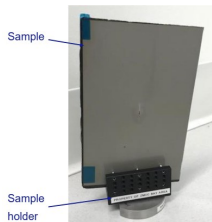
POLITECHNIKA  
LUBELSKA  
WYDZIAŁ  
MECHANICZNY

## WYSOKOROZDZIELECY NANTOMOGRAF RTG



### 1. FML

voxel size: 9,3  $\mu\text{m}$   
czas skanu 4 godz.



Fundusze  
Europejskie  
Inteligentny Rozwój



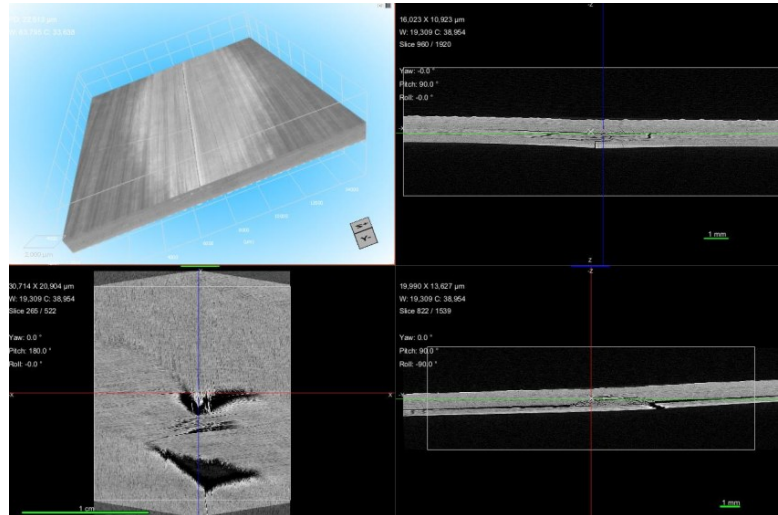
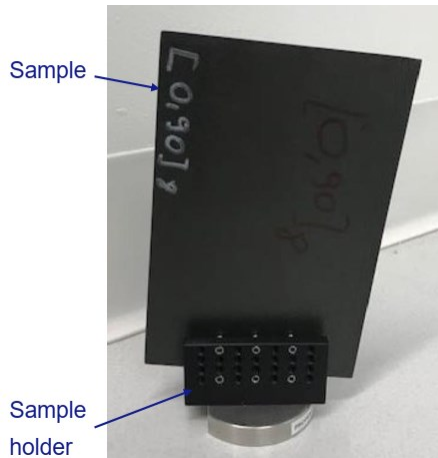
Rzeczpospolita  
Polska

Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



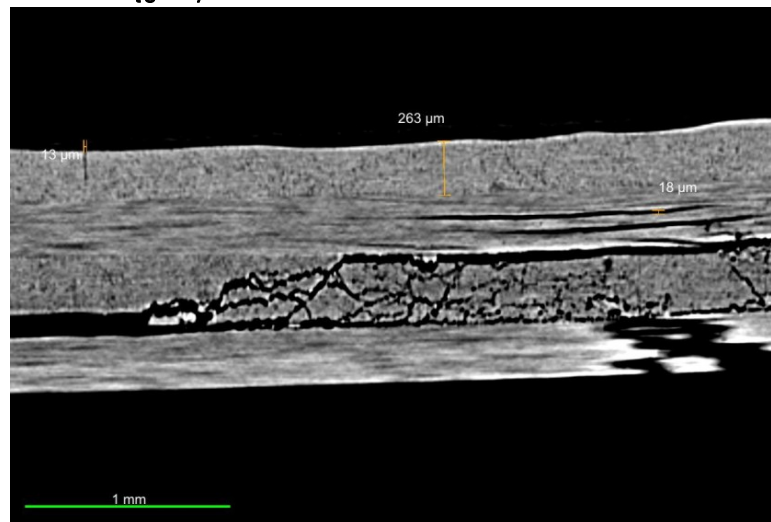
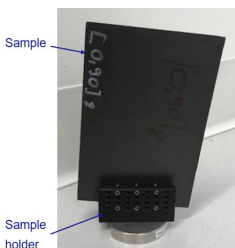
## 2. Kompozyt polimerowy zbrojony włóknem węglowym

voxel size: 10  $\mu\text{m}$   
czas skanu 4,5 godz.



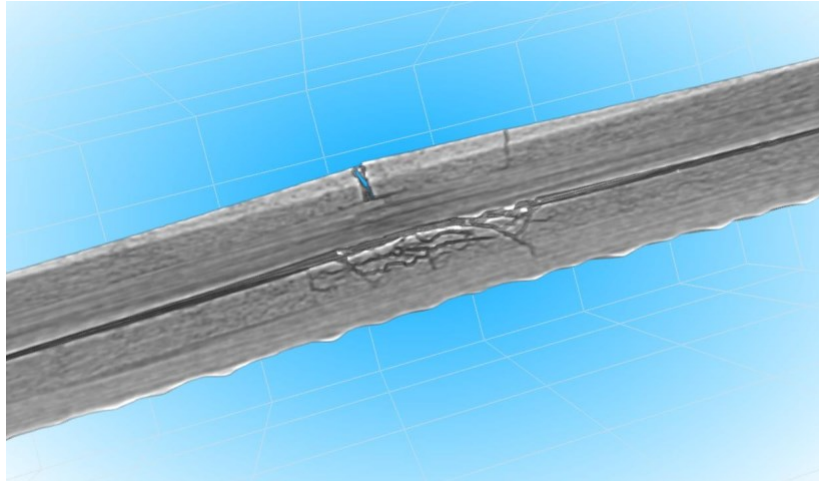
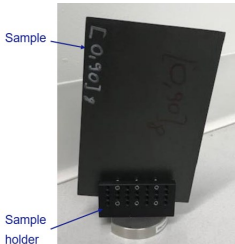
## 2. Kompozyt polimerowy zbrojony włóknem węglowym

voxel size: 10  $\mu\text{m}$   
czas skanu 4,5 godz.



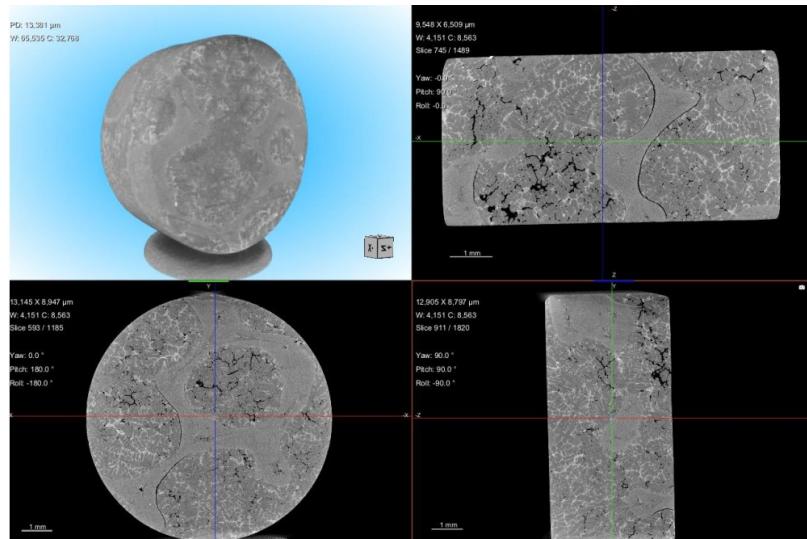
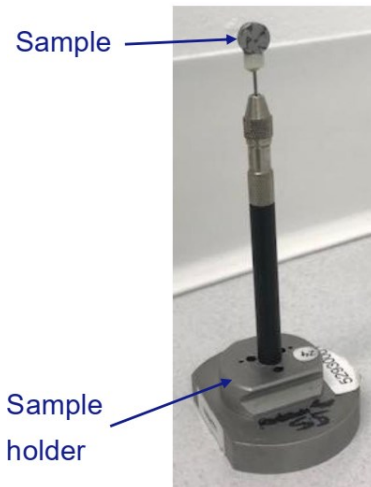
## 2. Kompozyt polimerowy zbrojony włóknem węglowym

voxel size: 10  $\mu\text{m}$   
czas skanu 4,5 godz.



## 3. Piana ceramiczna infiltrowana Al

voxel size: 6  $\mu\text{m}$  / 1,3  $\mu\text{m}$   
czas skanu 1 godz. / 4 godz.





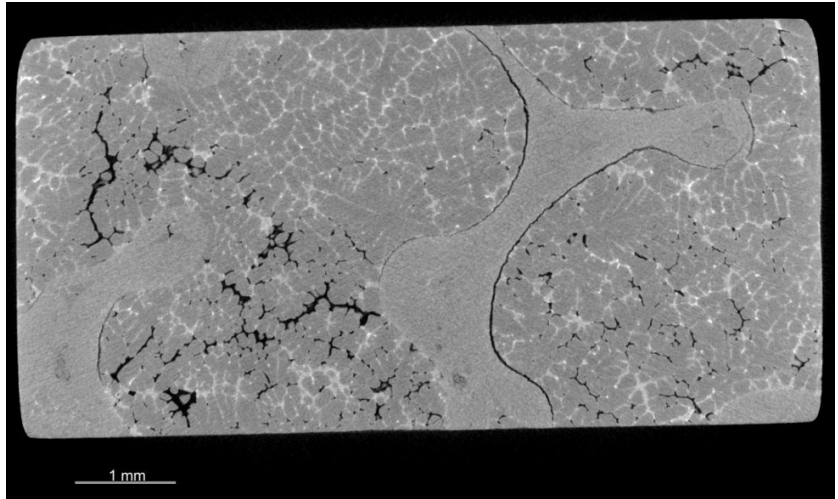
## 3. Piana ceramiczna infiltrowana Al

voxel size:  $6\ \mu\text{m}$  /  $1,3\ \mu\text{m}$   
czas skanu 1 godz. / 4 godz.

Sample



Sample  
holder



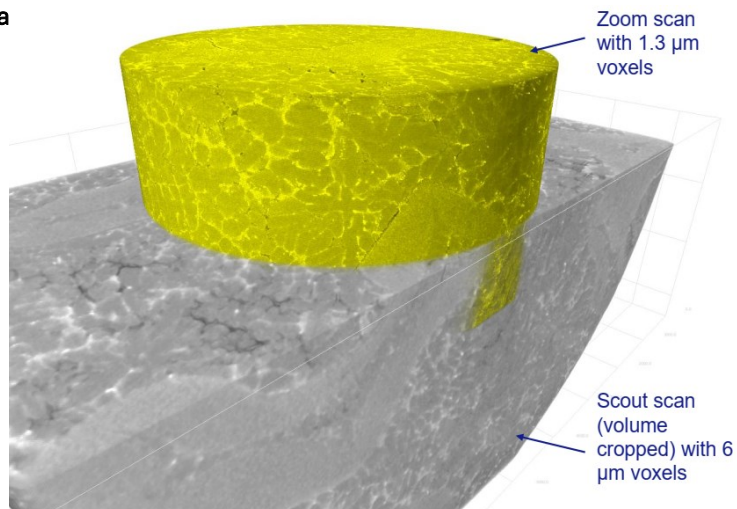
## 3. Piana ceramiczna infiltrowana

voxel size:  $6\ \mu\text{m}$  /  $1,3\ \mu\text{m}$   
czas skanu 1 godz. / 4 godz.

Sample

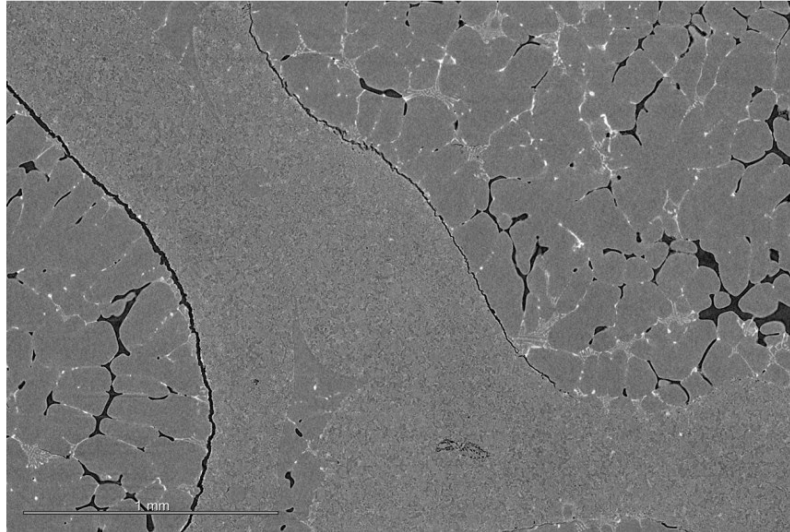
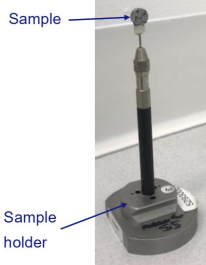


Sample  
holder



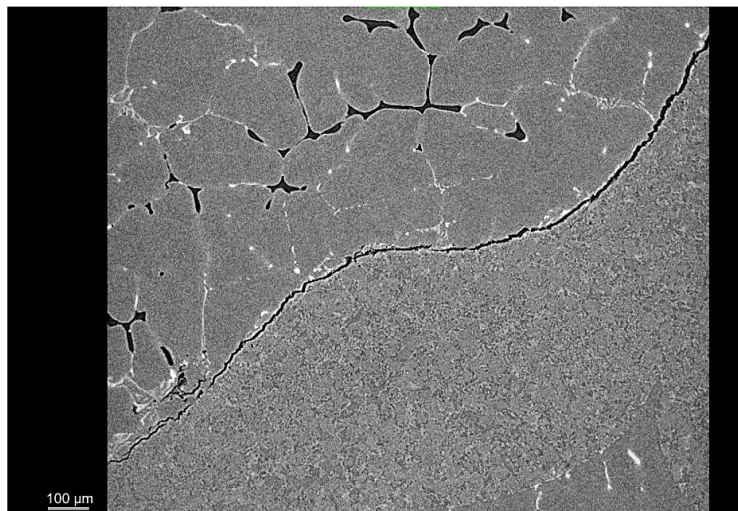
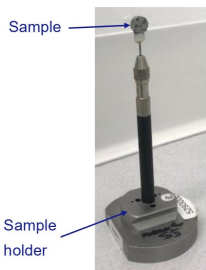
## 3. Piana ceramiczna infiltrowana Al

voxel size:  $6\ \mu\text{m}$  /  $1,3\ \mu\text{m}$   
czas skanu 1 godz. / 4 godz.

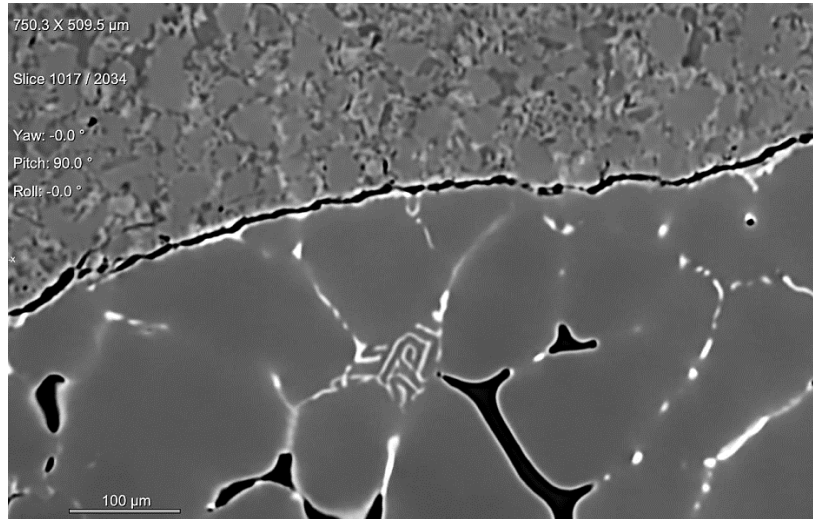
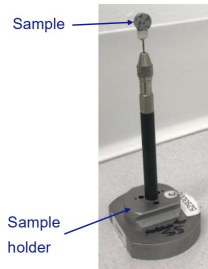


## 3. Piana ceramiczna infiltrowana Al

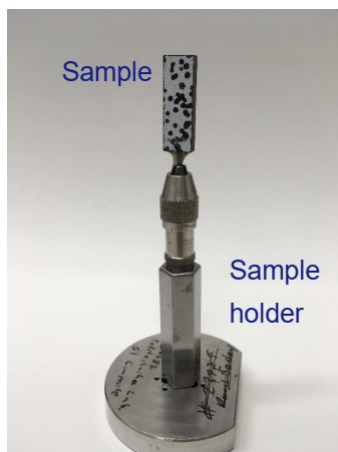
4x Objective       $0.75\ \mu\text{m}$  Voxel      22 Hours



### 3. Piana ceramiczna infiltrowana Al



### 4. Kompozyt zbrojony włóknem węglowym



Detector	Voxel size (μm)	FOV (mm)	Energy / Power (kV / W)	Total Scan Time
0.4x Objective	14.9	~28.8 x ~28.8	60 / 5	3 Hours
4x Objective	3.3	~3.3 x ~3.3	60 / 5	2.6 Hours
FPX	3.3	~10 x ~6.6	60 / 5	2.5 Hours
4x Objective	1.6	~1.6 x ~ 1.6	60 / 5	3.4 Hours
4x Objective	0.8	~ 1.6 x ~ 1.6	60 / 5	22 Hours





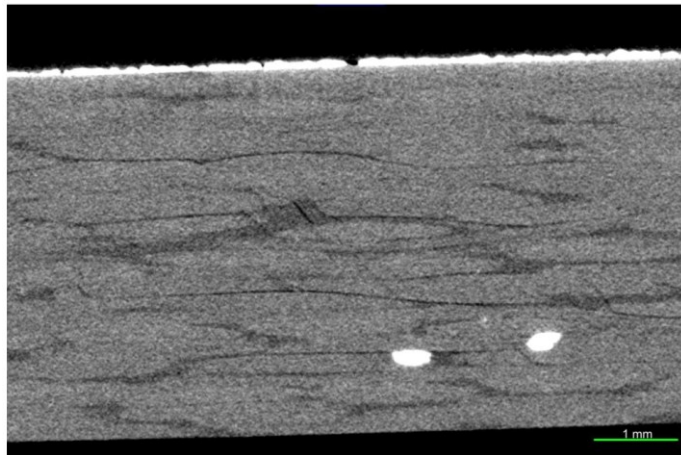
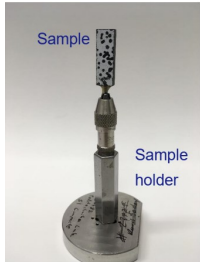
POLITECHNIKA  
LUBELSKA  
WYDZIAŁ  
MECHANICZNY

## WYSOKOROZDZIELCZY NANOTOMOGRAF RTG



### 4. Kompozyt zbrojony włóknem węglowym

0.4x Objective 14.9  $\mu\text{m}$  Voxel 3 Hours



Fundusze  
Europejskie  
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita  
Polska

Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego

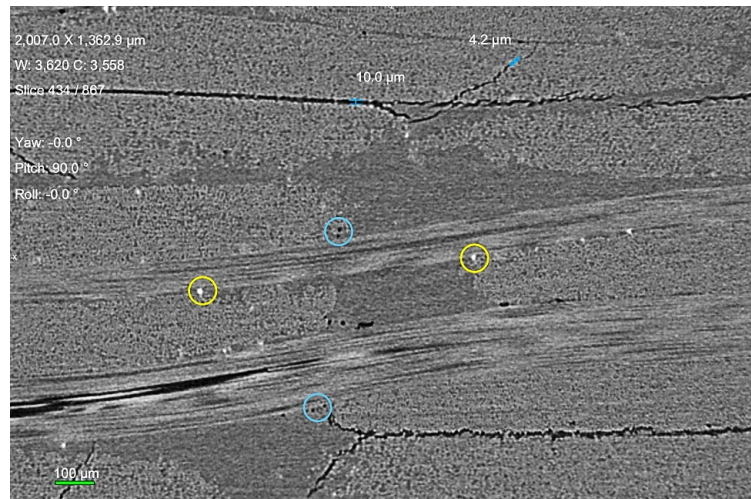
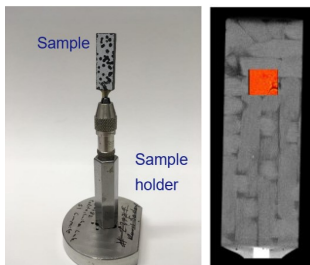


POLITECHNIKA  
LUBELSKA  
WYDZIAŁ  
MECHANICZNY

## WYSOKOROZDZIELCZY NANOTOMOGRAF RTG



### 4. Kompozyt zbrojony włóknem węglowym



Fundusze  
Europejskie  
Inteligentny Rozwój

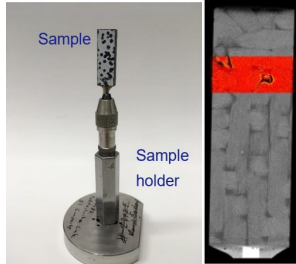


Rzeczpospolita  
Polska

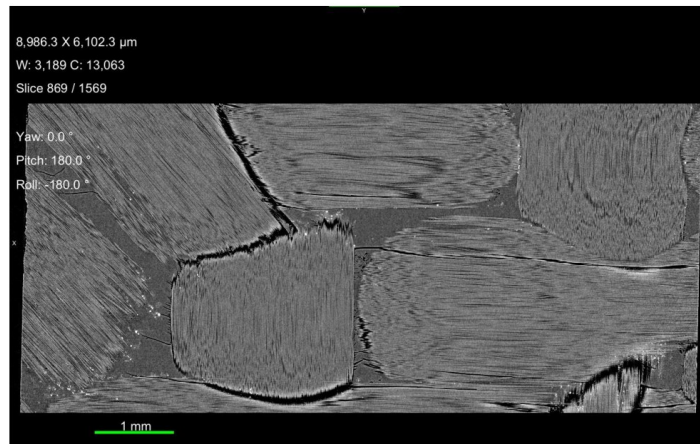
Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



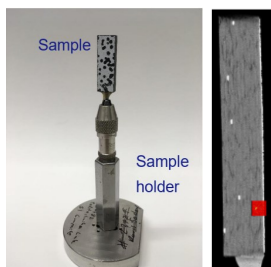
## 4. Kompozyt zbrojony włóknem węglowym



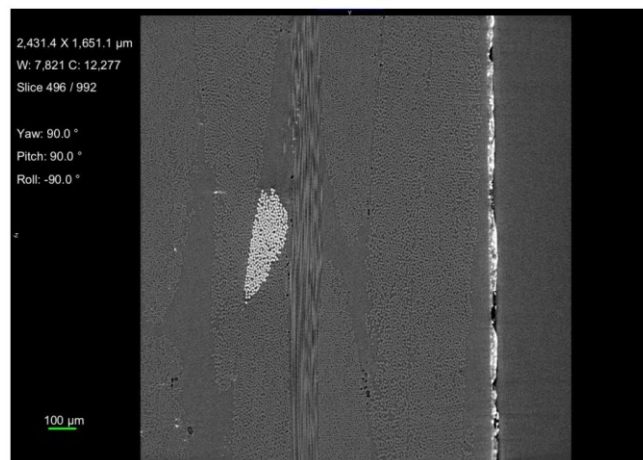
FPX 3.3  $\mu\text{m}$  Voxel 2.5 Hours



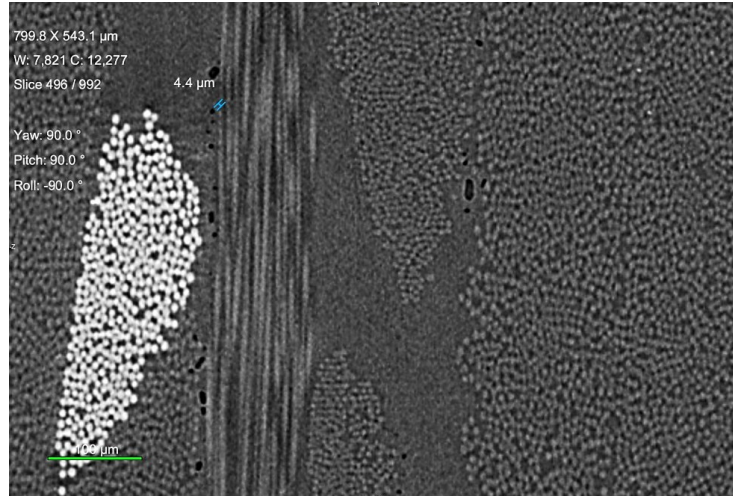
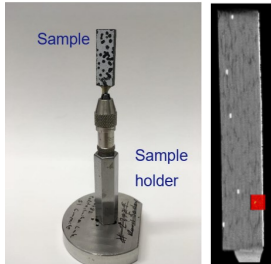
## 4. Kompozyt zbrojony włóknem węglowym



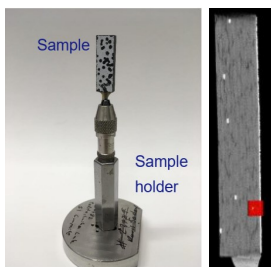
4x Objective 1.6  $\mu\text{m}$  Voxel 3.4 Hours



## 4. Kompozyt zbrojony włóknem węglowym



## 4. Kompozyt zbrojony włóknem węglowym

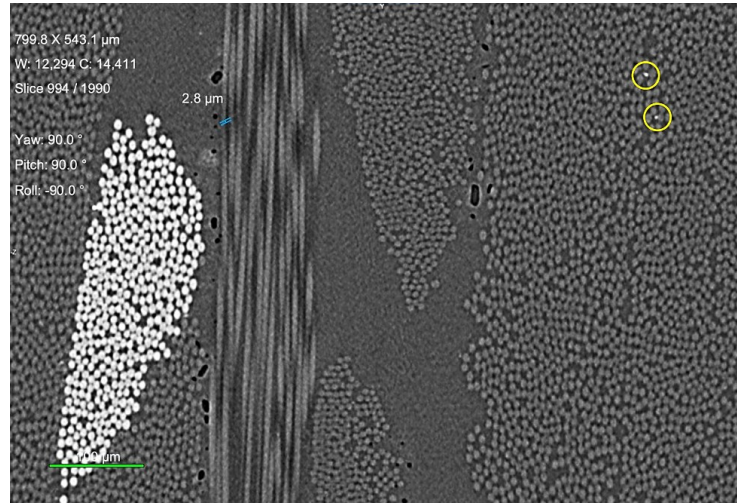
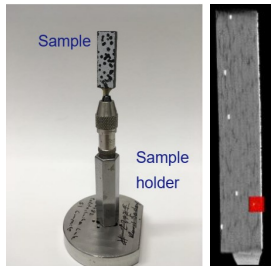


4x Objective    0.8  $\mu\text{m}$  Voxel    22 Hours



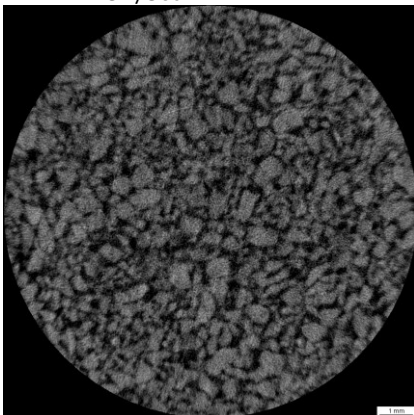


## 4. Kompozyt zbrojony włóknem węglowym

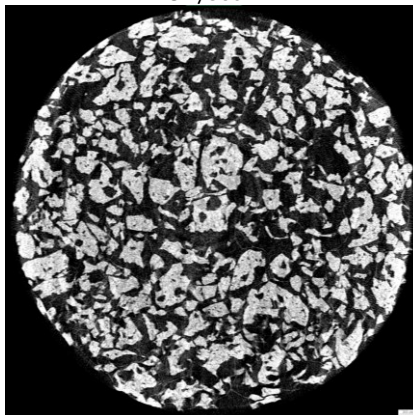


## 5. Kompozyt kośćozastępczy FlexiOss® - jakość obrazowania w 3 systemach (rozdzielczość ok. 15 $\mu\text{m}$ )

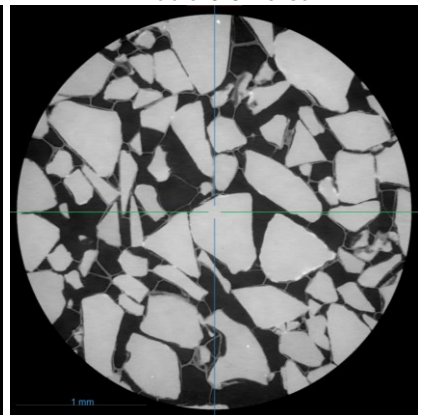
SkyScan 1174



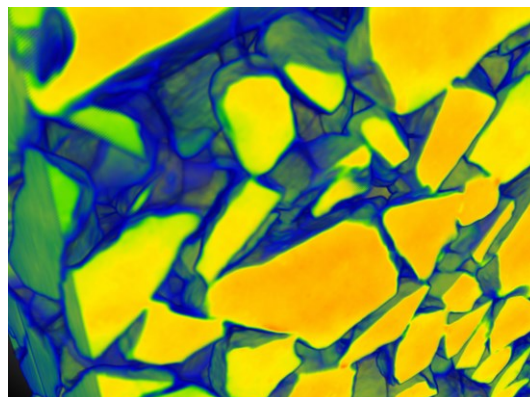
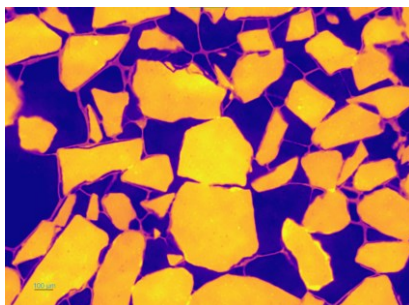
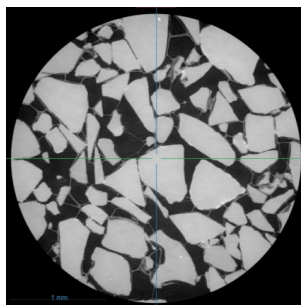
SkyScan 1172



Xradia 510 Versa



## 5. Kompozyt kośćozastępczy FlexiOss® - jakość obrazowania w systemie Xradia 510 Versa



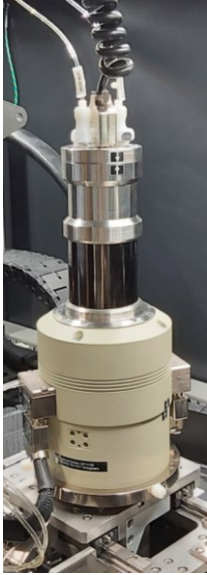
## Plan prezentacji:

1. Wstęp
2. Procedura zakupu tomografu w ramach projektu CeBMaT
3. Tomografia rentgenowska – podstawy
4. Możliwości badawcze
5. **Wyposażenie dodatkowe – stół Deben**
6. Koszty badań

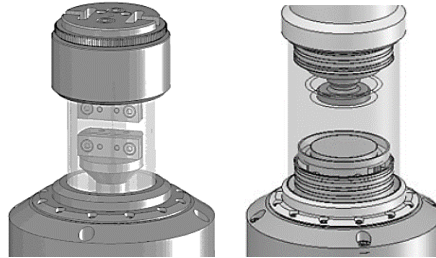




## Stolik Deben CT5000TEC

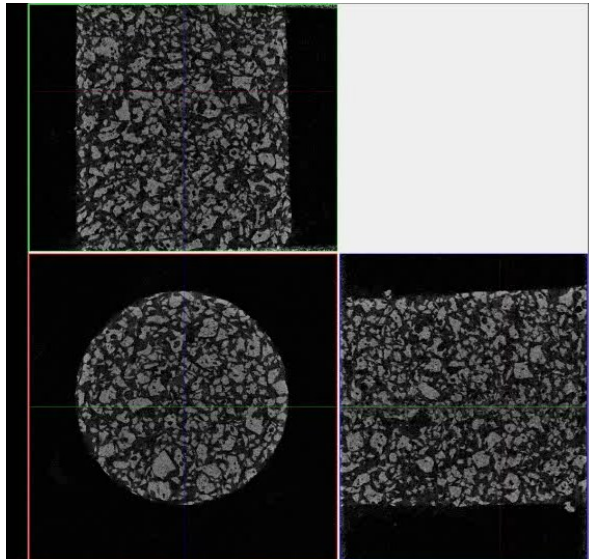


Stage	Max load	Exchangeable				Loadcell options	Heating	Cooling	In-Liquid
		Loadcells	Tensile	Compression	Torsion				
CT160	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-
CT350	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
CT500	500N	-	✓	✓	-	100N,200N,500N	-	-	-
CT5000RT	5kN	✓	✓	✓	-	1kN,2kN,5kN	-	-	✓
<b>CT5000TEC</b>	<b>5kN</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>-</b>	<b>1kN,2kN,5kN</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>
CT5000H250	5kN	✓	✓	✓	-	1kN,2kN,5kN	✓	-	✓
CT20KN	20kN/0.1kNm	-	✓	✓	✓	20kN/0.1kNm	✓	✓	✓



obciążenie max 5 kN  
chłodzenie/grzanie -20°C do +160°C  
- niezależne na obydwu uchwytach

## Kompozyt kośćozastępczy FlexiOss®





POLITECHNIKA  
LUBELSKA  
WYDZIAŁ  
MECHANICZNY

## WYSOKOROZDZIELECY NANTOMOGRAF RTG



Ściskanie piany Al

### Continuous in situ acquisition of metal foam compression

Aluminum foam - 10 PPI

Dimensions (WxDxH)	20 x 18 x 21 mm
In situ setup	Deben CT5000
Compression rate	0.1 mm/min
Voxel size	32 $\mu$ m
Temporal resolution	20 sec/scan
Number of scans	190
Total time	1 h 3 min



Acquired by  
**TESCAN UniTOM XL**



Tescan



Fundusze  
Europejskie  
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita  
Polska

Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



POLITECHNIKA  
LUBELSKA  
WYDZIAŁ  
MECHANICZNY

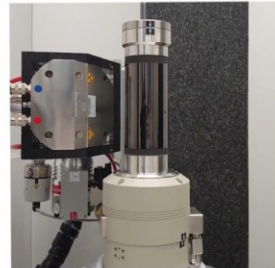
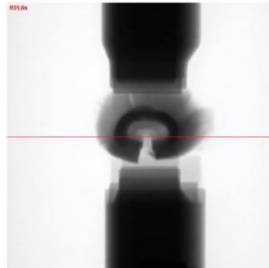
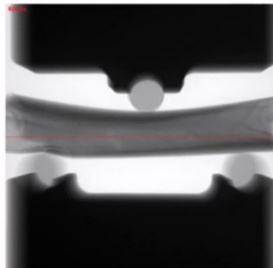
## WYSOKOROZDZIELECY NANTOMOGRAF RTG



Zginanie kości kurczaka

### Chicken bone 3-point bending

Uninterrupted deformation



Visualized using Panthera

2 mm

Tescan



Fundusze  
Europejskie  
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita  
Polska

Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego

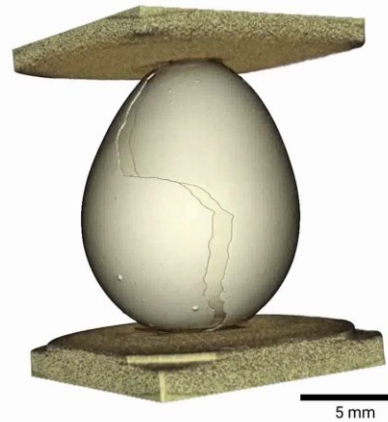


## Ściskanie przepiórczego jaja

### Quail egg compression Fully dynamic acquisition

What happens if you tell  
an egg a joke?

It cracks up!



Tescan



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



## Plan prezentacji:

1. Wstęp
2. Procedura zakupu tomografu w ramach projektu CeBMaT
3. Tomografia rentgenowska – podstawy
4. Możliwości badawcze
5. Wyposażenie dodatkowe – stół Deben
6. Koszty badań



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego





# WYSOKOROZDZIELCZY NANOTOMOGRAF RTG



Dziękuję za uwagę !



Zapraszamy do obejrzenia urządzenia

