



Werth Messtechnik GmbH



VT-A-8-10-0001_D



Dr.-Ing. Siegfried Werth 1907 - 1982



VT-A-5-2-0003_D



RECORD® E

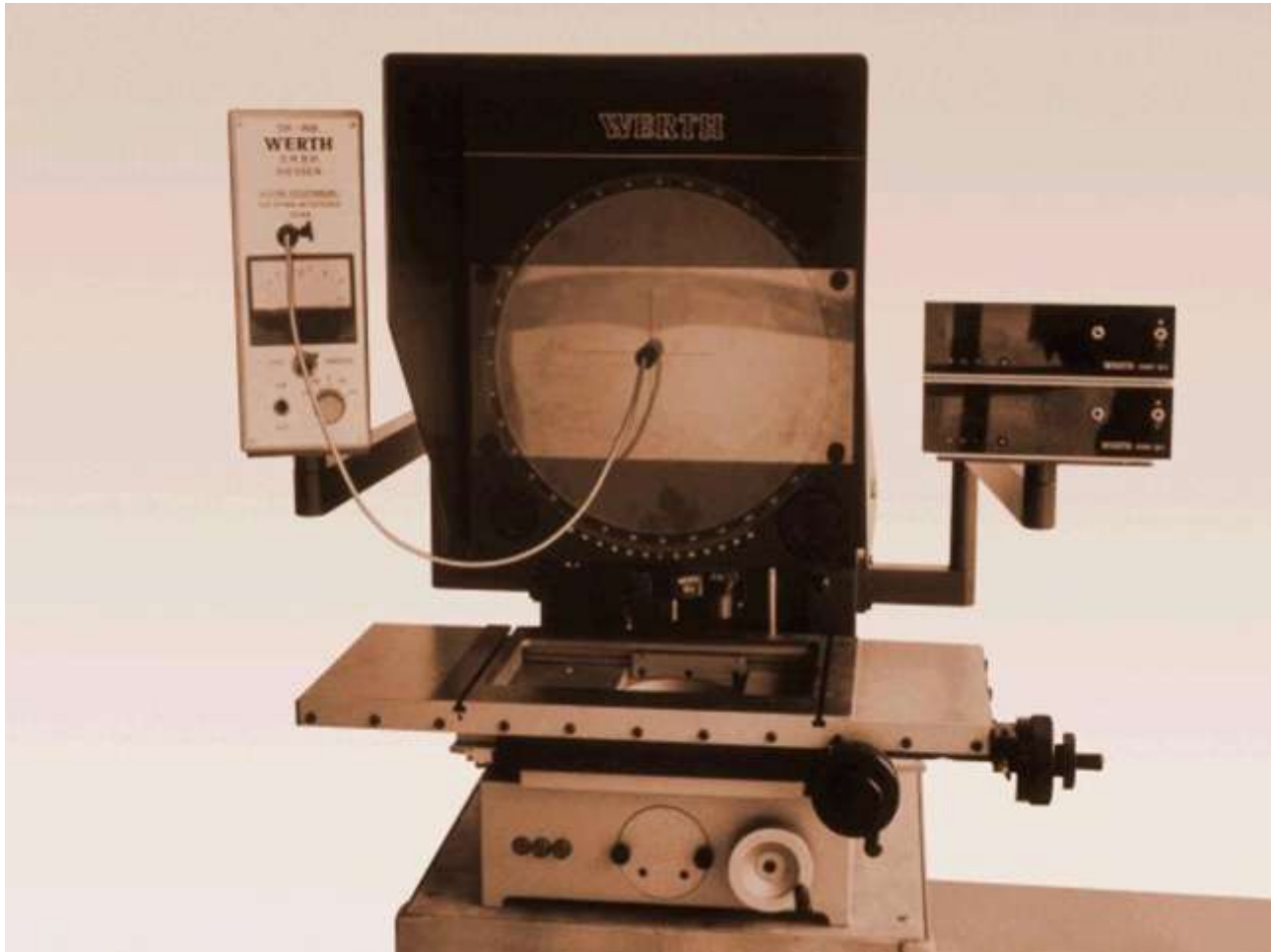
Made in 1954



VT-A-5-2-0004_E



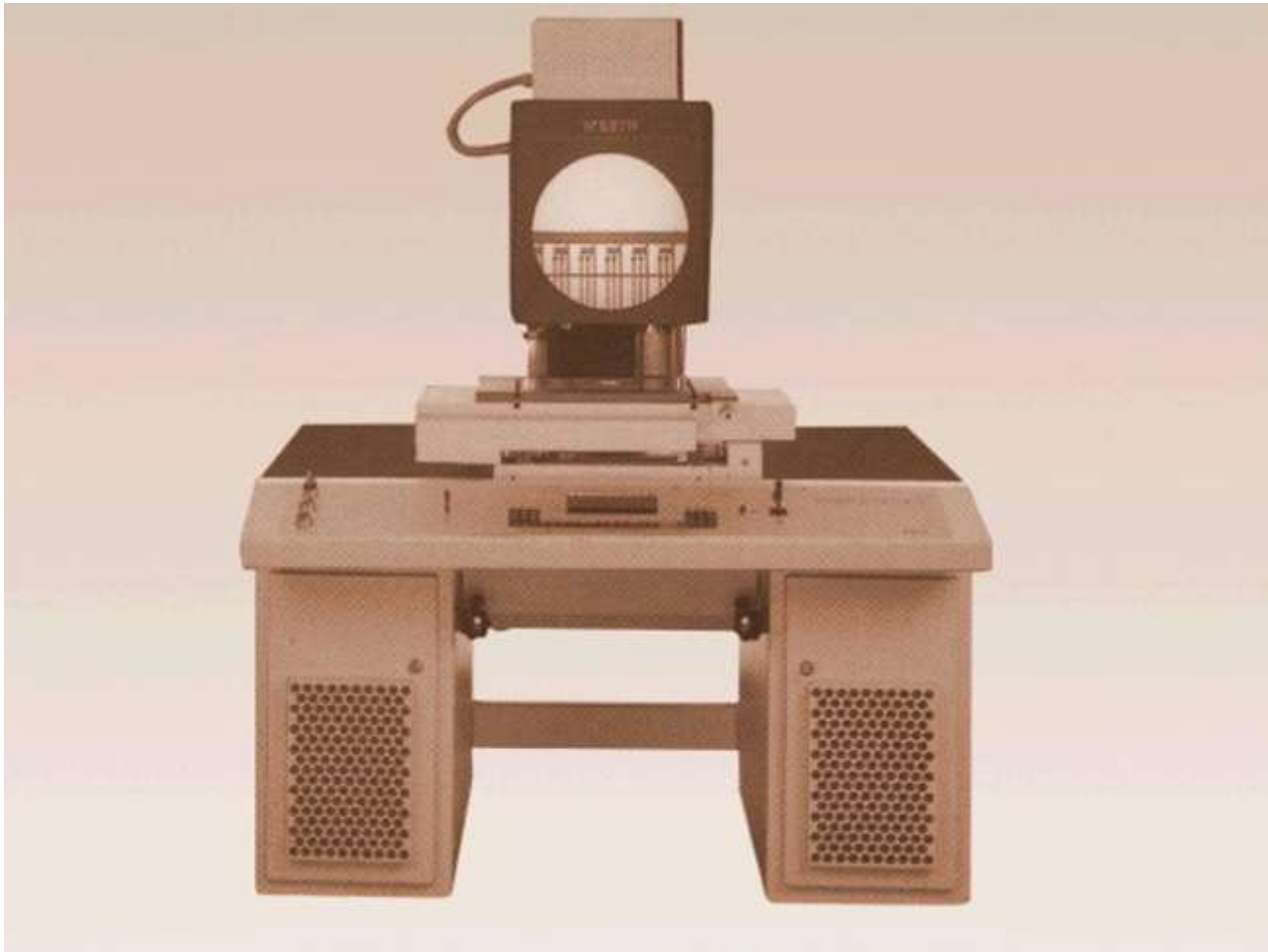
Optimus® “Werth Tastaage“ Made in 1977



VT-A-11-08-0005_E



Optimus[®] CC Made in 1980



VT-A-5-2-0006_E



Inspector[®] Made in 1987



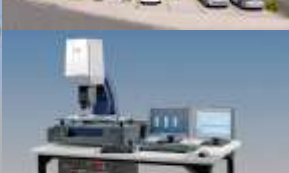
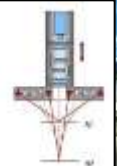
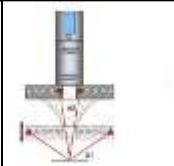
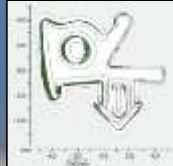
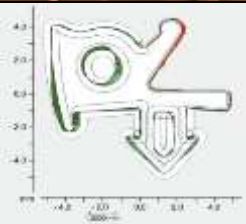
VT-A-11-08-0244_E

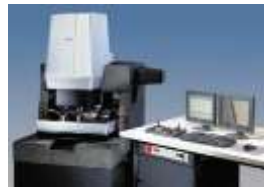


Werth Milníky

- přehled -

- **1996** Inspector® FQ – celosvětově nejrychlejší multisenzorové CMM
- **1998** Werth Fiber Probe WFP – celosvětově nejmenší a nejpřesnější kontaktní sonda (patent)
- **2001** MultiRing – unikátní nasvětlovací nástroj (patent)
- **2002** FlatScope – moderní “profil-projektor” (patent)
- **2004** VideoCheck® V HA – celosvětově nejpřesnější multisenzorové CMM pro měření nástrojů
- **2004** Werth Sensor IP 40T – kompaktní optická senzorová hlava pro flexibilní měření systémem pro zpracování obrazu na otočných hlavách (patent v řízení)
- **2005** Werth TomoScope® – **světově první: počítačová tomografie integrovaná v multisenzorovém souřadnicovém měřicím stroji (patent v řízení)**
- **2006** Werth VideoCheck® UA – Multisenzorové CMM s rozlišením 1 nanometr (Ultra Accuracy) pro měření vysoce přesných dílců a 3D mikro geometrií
- **2008** Werth TomoScope® HV Compact – Počítačová Tomografie v multisenzorovém souřadnicovém měřicím stroji - kompletní a přesné měření velkých dílců a komponentů s vysokou hustotou materiálu na stroji s kompaktním dizajnem
- **2011** Werth Fiber Probe WFP 3D – 3D mikro snímač pro vysoce přesné měření nejmenších prvků





Optika → Dotek → Optika+Dotek → Tomografie

MPE od 5 μm až do 0.15 μm

Měřicí rozsah 50x50 mm až do 3500x1500x800 mm



----- Multisenzorové souřadnicové měřicí stroje Werth se senzorem pro počítačovou tomografii -----



Multisenzorové souřadnicové měřicí stroje Werth se senzorem pro počítačovou tomografii



TomoScope®

- Ø=87; L=240 (130 kV / 150 kV)
- Ø=197; L=317 (190 kV)



TomoCheck®

- Ø=87; L=240 (130 kV / 150 kV)
- Ø=197; L=317 (190 kV)



TomoScope® HV Compact

- Ø=327; L=517



TomoScope® HV

- Ø=500; L=710



TomoScope® HV 450 kV

- Ø=500; L=1010



Souřadnicové měřicí stroje Werth

se senzorem pro počítačovou tomografii



*Innovation Prize in Hesse,
and Gold Euromold Award*

Award Winning Technology

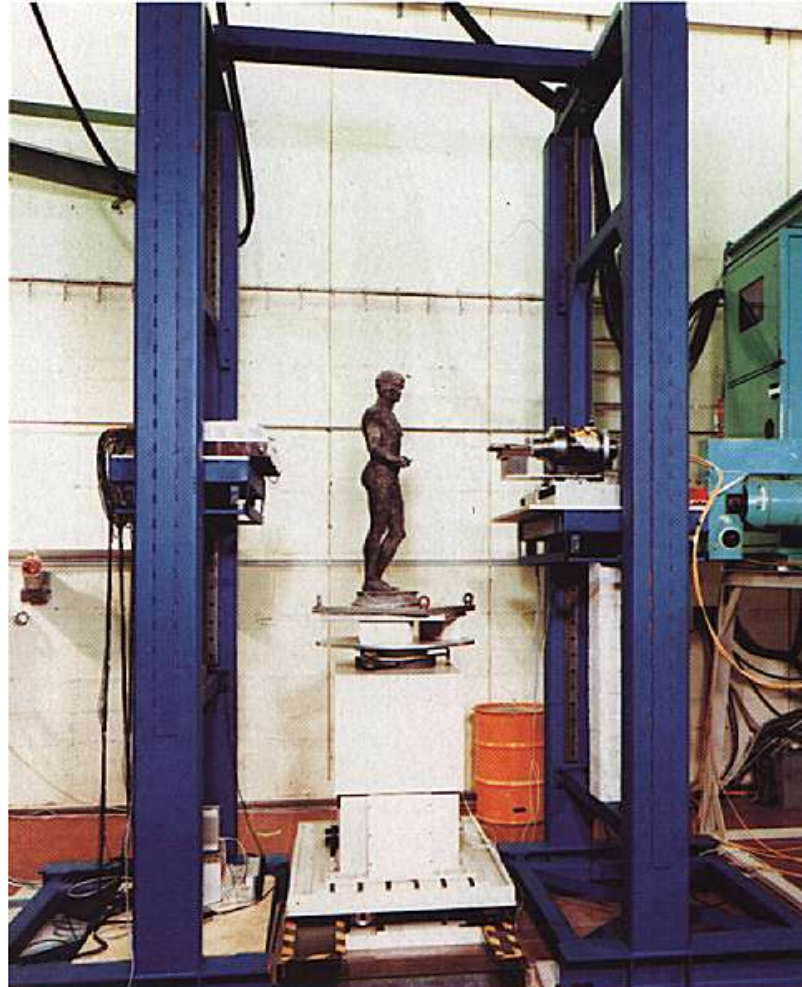


*Gold in Brunn for
technical innovation*



Startovní bod: CT pro ne-destruktivní testování NDT

- Optimalizováno pro NTD – na metrologické aspekty není brán ohled
- Chybějící integrace softwaru → nutná změna mezi rozdílným SW
- Sporná dlouhodobá stabilita systému
- “ISO mezní hodnoty”
- Obtížně definovatelná přesnost cca. 50 μm





Souřadnicový Měřicí Stroj se senzorem pro počítačovou tomografii

- Mechanický dizajn s komponenty souřadnicové měřicí technologie
- CAA-kompensace
- Teplotní kompenzace
- Před-kalibrovaná zvětšení
- Automatické kalibrační postupy
- Lokální hranová detekce – bez ručního ovlivnění výsledků měření obsluhou
- Integrovaná korekce artefaktů
- Přesnost v rozsahu 5-20 μ m (v závislosti na materiálu a geometrii)
- Subvoxeling (patent)



Werth TomoScope® - TomoScope® HV - TomoCheck®

výhody dvou technologií v jednom stroji

- Multisenzorové CMM pro měření 3D sítě bodů užitím počítačové tomografie v kombinaci s dalšími senzory (kontaktní sondy, optické senzory)
- KOMPLETNÍ snímání geometrie dílce pomocí CT technologie
- PŘESNÉ měření funkčních rozměrů pomocí zpracování obrazu, laseru nebo kontaktních sond
- **Kalibrace** výsledků tomografie přímo na dílci a měření funkčních rozměrů s přesností odpovídající CMM
- Využití stroje jako „běžný“ multisenzorový CMM pro optické nebo kontaktní měření



Werth TomoScope® - TomoScope® HV - TomoCheck®

Výhody

- Precizní a opakovatelné výsledky měření užitím kvalitní mechaniky a nového kalibračního postupu (patent v řízení)
- Univerzální SW koncept: programování (opakovatelné měření), plně automatické měření a vyhodnocení (i paletové měření přes noc), užitím programu WinWerth®
- Díky pevné konstrukci s dlouhodobou stabilitou a kalibraci je dosaženo precizních a opakovatelných výsledků
- Díky multisenzorovému principu lze zařízení optimálně nakonfigurovat tak, aby zvládlo měřicí úlohu
- Jednoduchá obsluha a kompaktní dizajn umožní použití na kontrolním oddělení výrobních závodů
- Specifikace srovnatelná se souřadnicovými měřicími stroji

Werth CMM

s počítačovou tomografií

- Splňuje všechny zákonné požadavky pro kompletně chráněné rentgenové zařízení dle platných předpisů.
- Bezpečný provoz stroje nevyžaduje žádnou dodatečnou ochranu.
- Stroj obsahuje i další bezpečnostní funkce nad rámec zákonných požadavků.

TomoScope®



TomoCheck®



TomoScope® HV Compact



TomoScope® HV





Werth TomoScope® - TomoScope® HV - TomoCheck®

Konzept vyhodnocovacího programu

- WinWerth® – interaktivní grafický program s jednoduchou obsluhou a uživatelsky přátelským prostředím pro Microsoft Windows
- WinWerth® 3D-Modul - měření a porovnání s CAD daty
- GD&T vyhodnocení pomocí WinWerth® 3D standardních funkcí
- Vyhodnocení řezů pomocí BestFit a ToleranceFit®
- Osvědčený programový balík pro rychlou rekonstrukci 3D geometrie dílců
- Rozšíření možností pro měření na 2D rentgenovém snímku
- Snadné užití díky integraci do konceptu WinWerth®

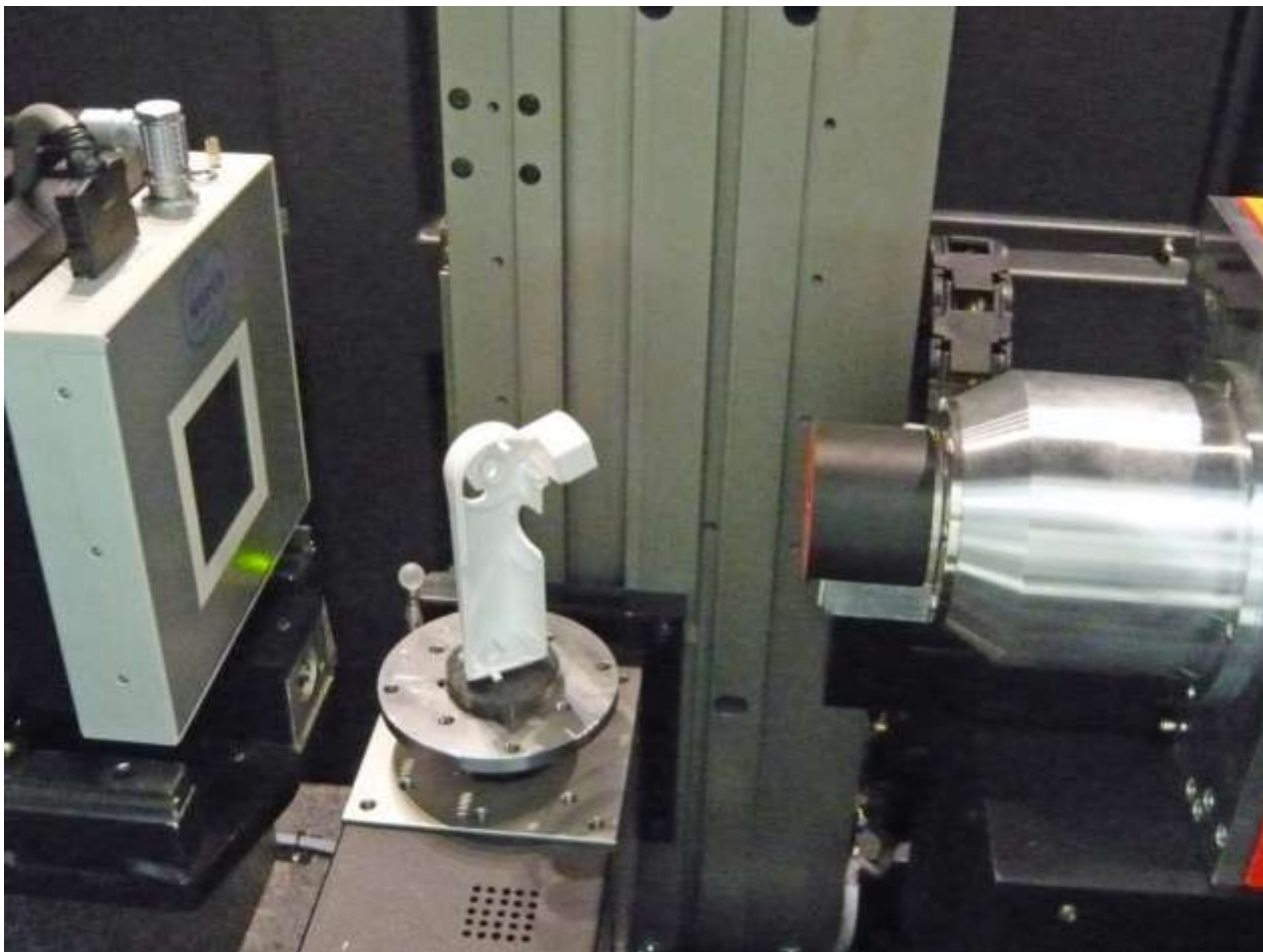


VT-A-9-02-0316_E



Získání dat

Dílec je umístěn na rotační stůl

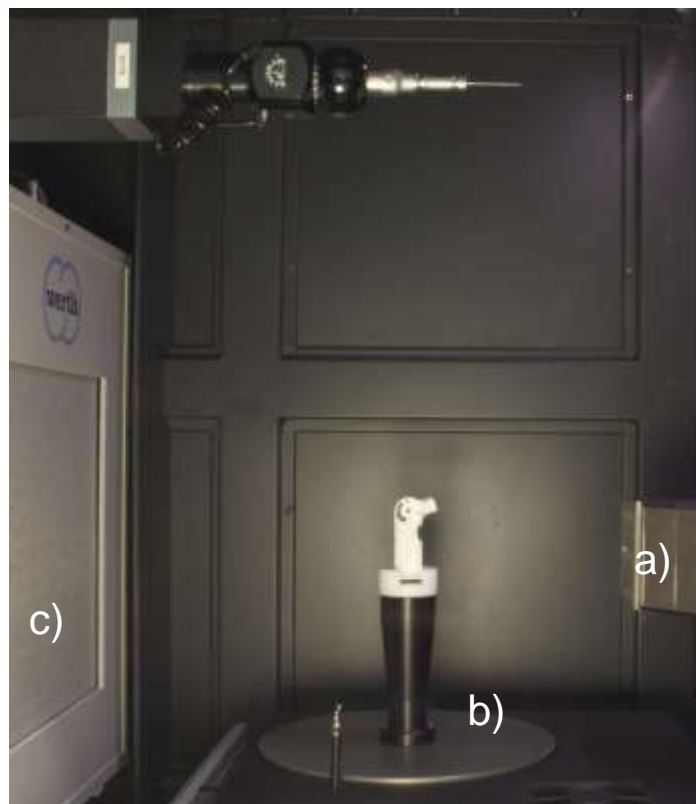


VT-A-9-10-0224_E

Počítačová Tomografie Werth

klíčové komponenty

a) 225 kV microfocus rentgenová trubice, b) Vysoce precizní rotační osa se vzduchovými ložisky, c) Detektor s rozlišením cca. 2000 x 2000 pixelů.



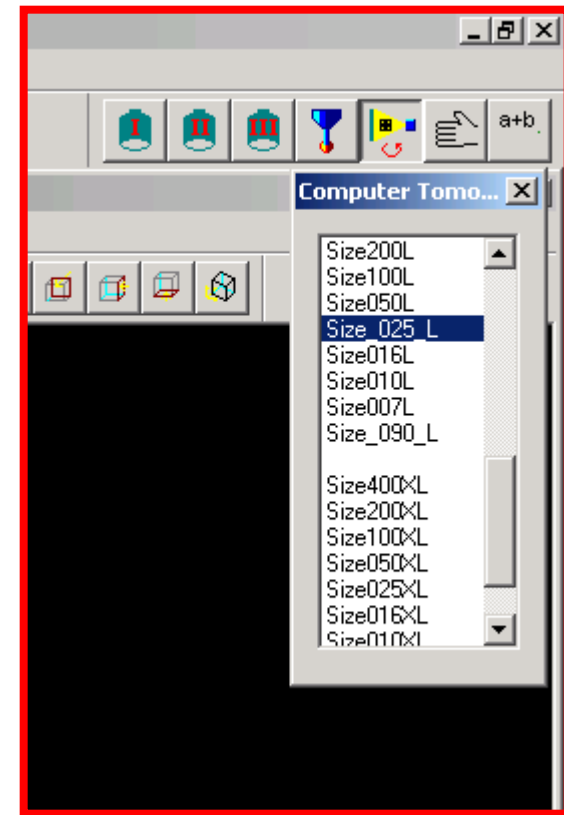
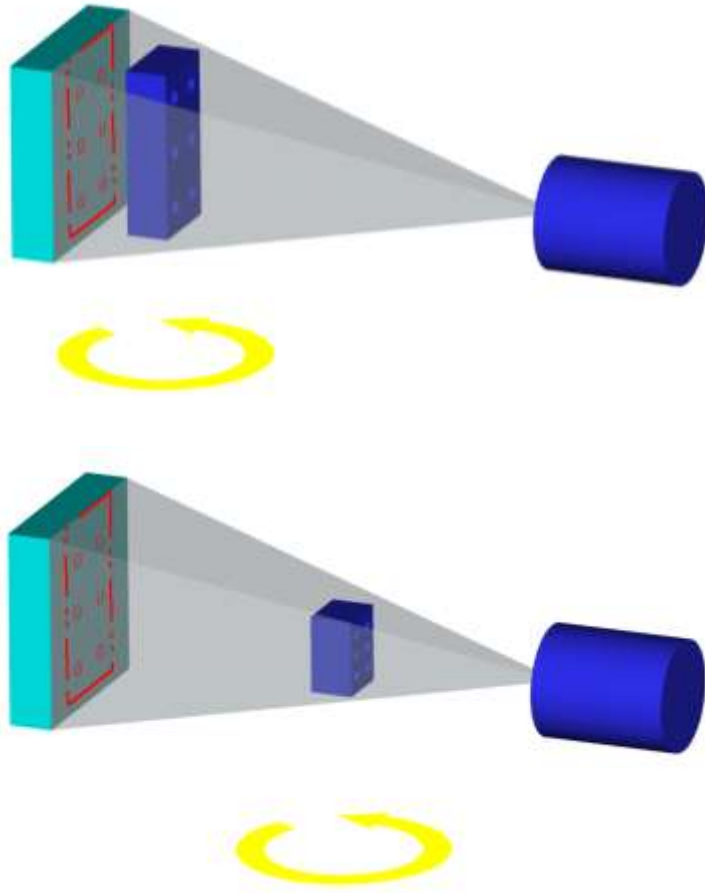
Počítačová Tomografie Werth

upnutí dílce

Upnutí plastového dílce do pěnové základny.



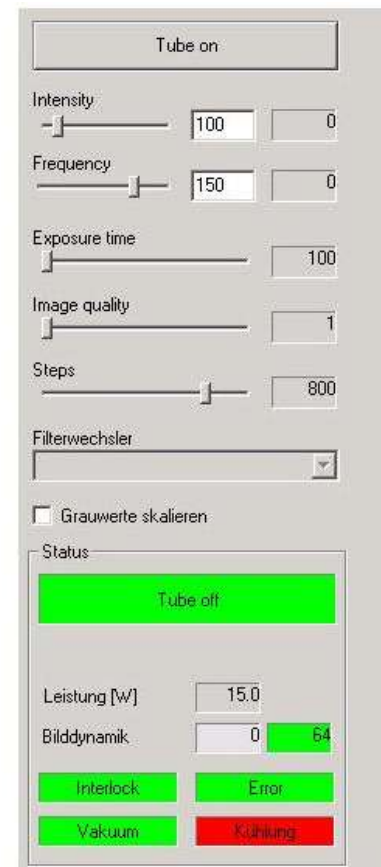
Rentgenová Tomografie: ustavení velikosti dílce skrze program WinWerth®



Zvětšení



Živý obraz



Zachycení snímků



Zpracování Obrazu



Originální snímek

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	30	60	80	100	90
0	0	0	10	50	115	120	150	180	150
0	0	0	60	115	155	180	250	250	250
0	0	60	100	160	200	250	250	250	250
0	5	90	130	190	250	250	250	250	250
0	10	120	175	240	250	250	250	250	250
0	20	110	200	250	250	250	250	250	250
0	10	120	175	250	250	250	250	250	250

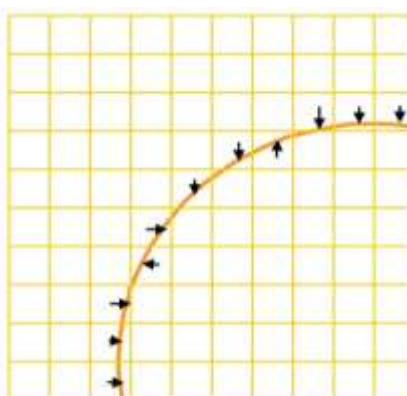
Digitální snímek

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	30	60	80	100	90
0	0	0	10	50	115	120	150	160	150
0	0	0	60	115	155	190	250	250	250
0	0	60	100	140	200	250	250	250	250
0	5	90	130	190	250	250	250	250	250
0	10	120	175	240	250	250	250	250	250
0	20	110	200	250	250	250	250	250	250
0	10	120	175	250	250	250	250	250	250

Kontura pixelů

								0	0	0
								30	60	↓ ↓ ↓
								50	↓ ↑	150 160 150
								60	↓	155 190
								60	→	140
								90	←	190
								10	→	175
								20	→	200
								10	→	175

Kontura sub-pixelů

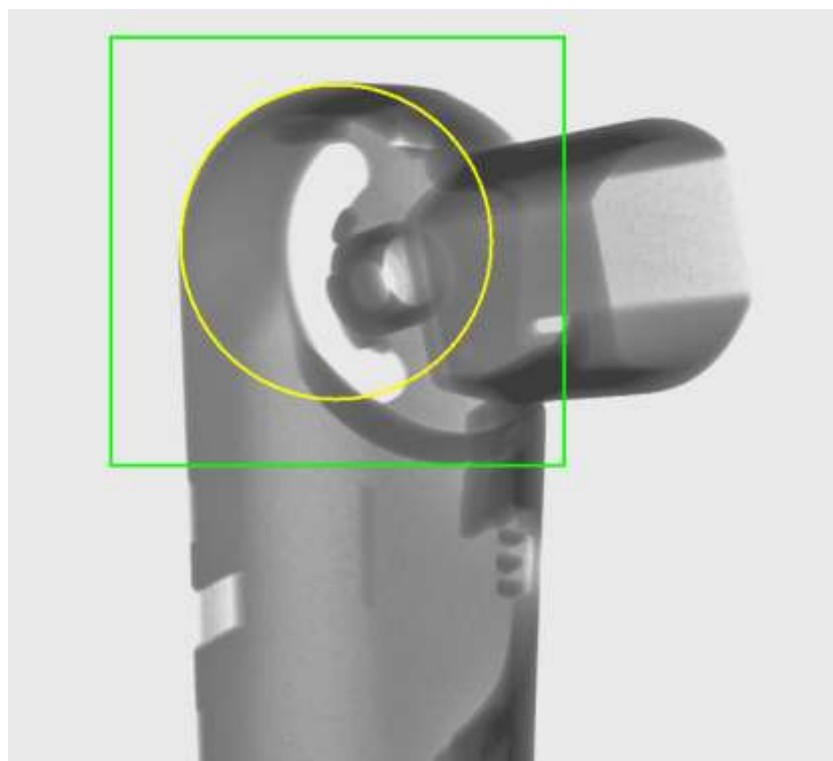
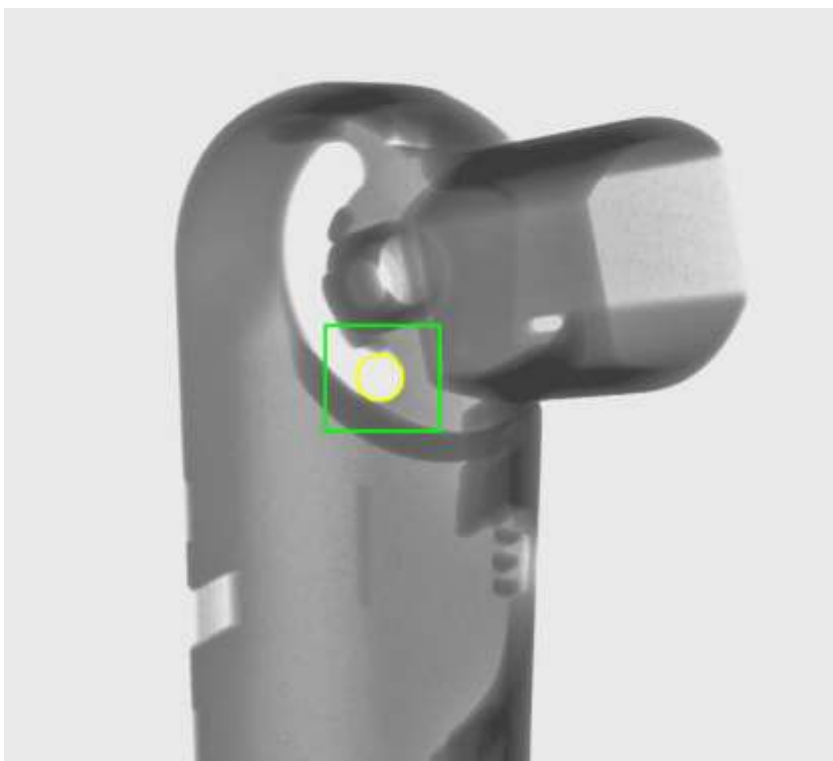


Bestfit Element



**Bestfit Element
v originálním snímku**

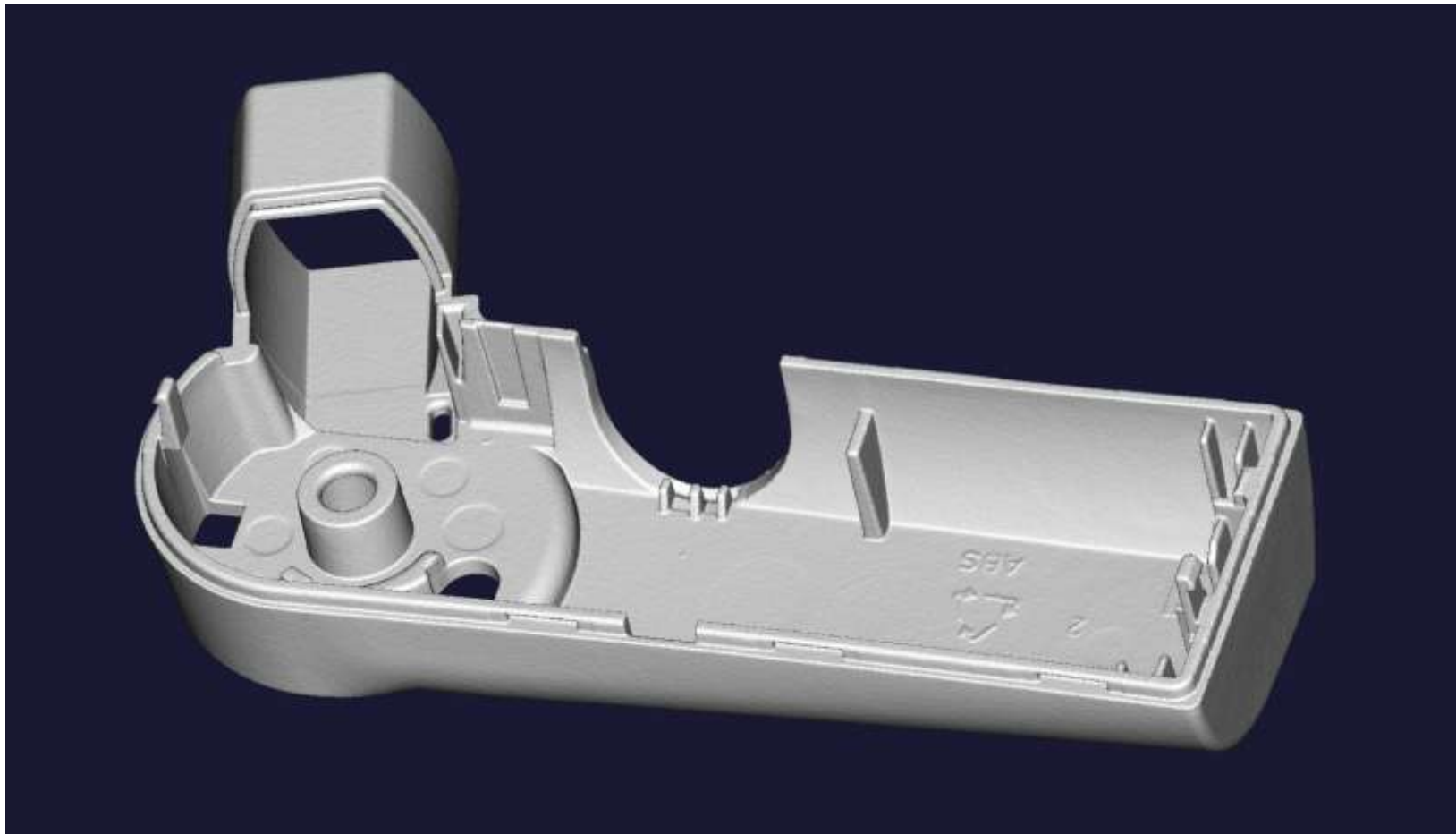
Přímé měření na 2D rentgenovém snímku po kalibraci referenčního systému





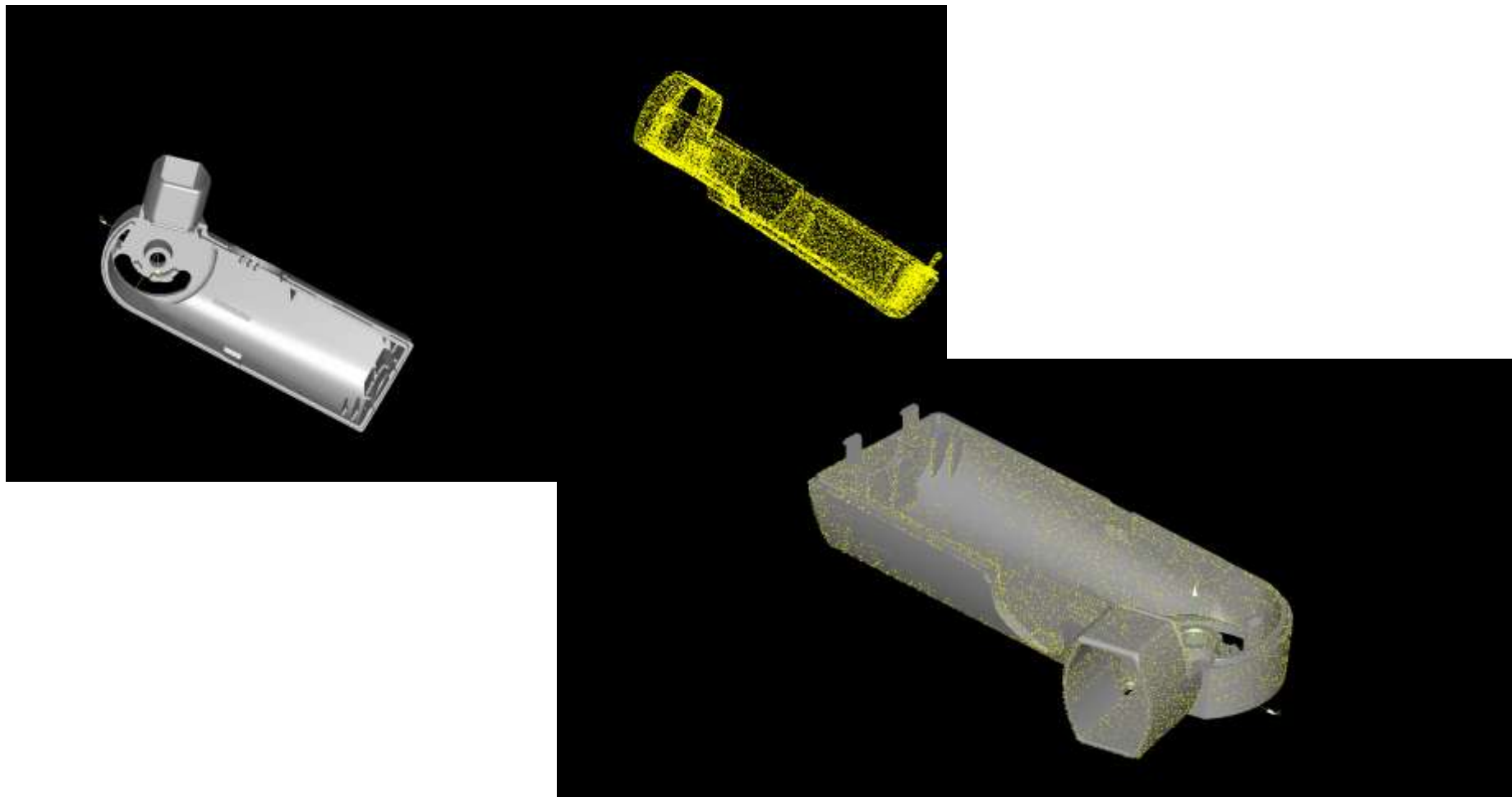
Výsledek počítačové Tomografie Werth

Nasnímané body zobrazené polygonální sítí STL



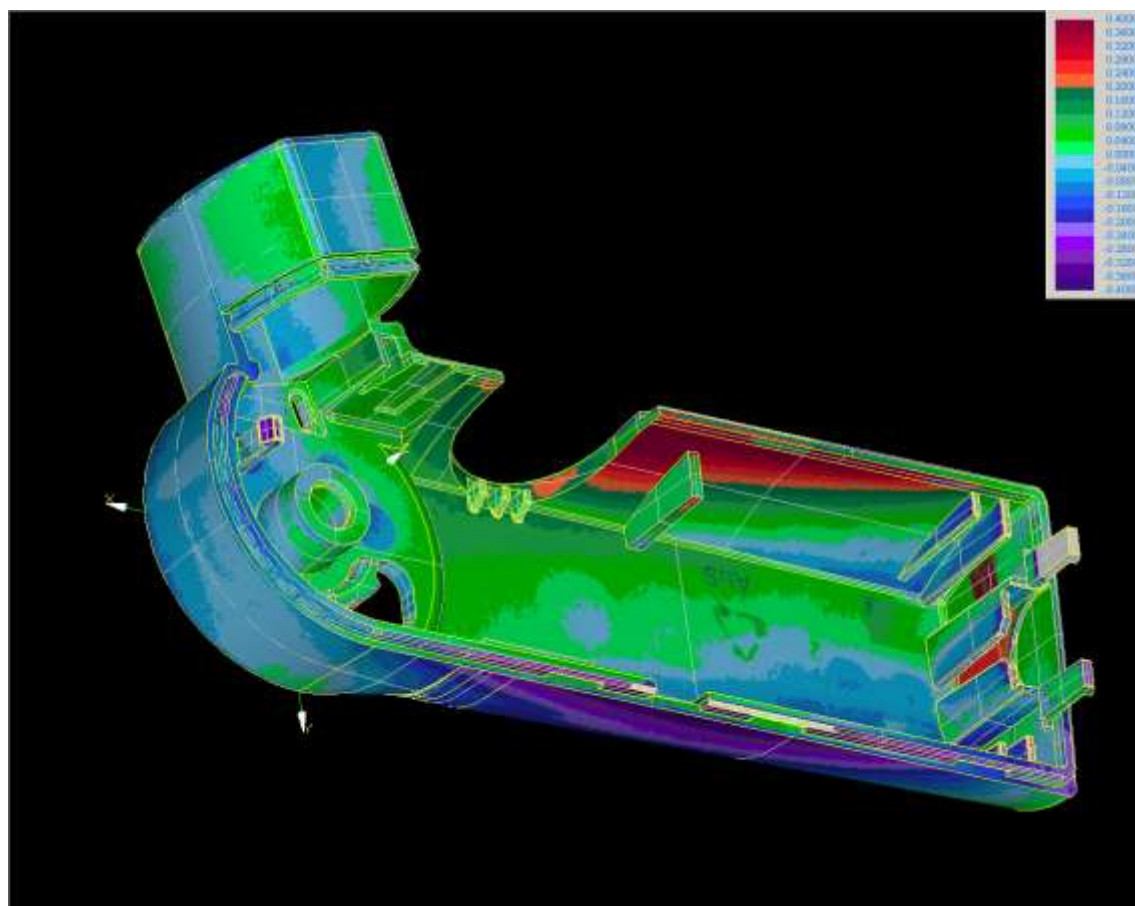
VT-A-9-10-477_E

Vyhodnocení sítě bodů a CAD model

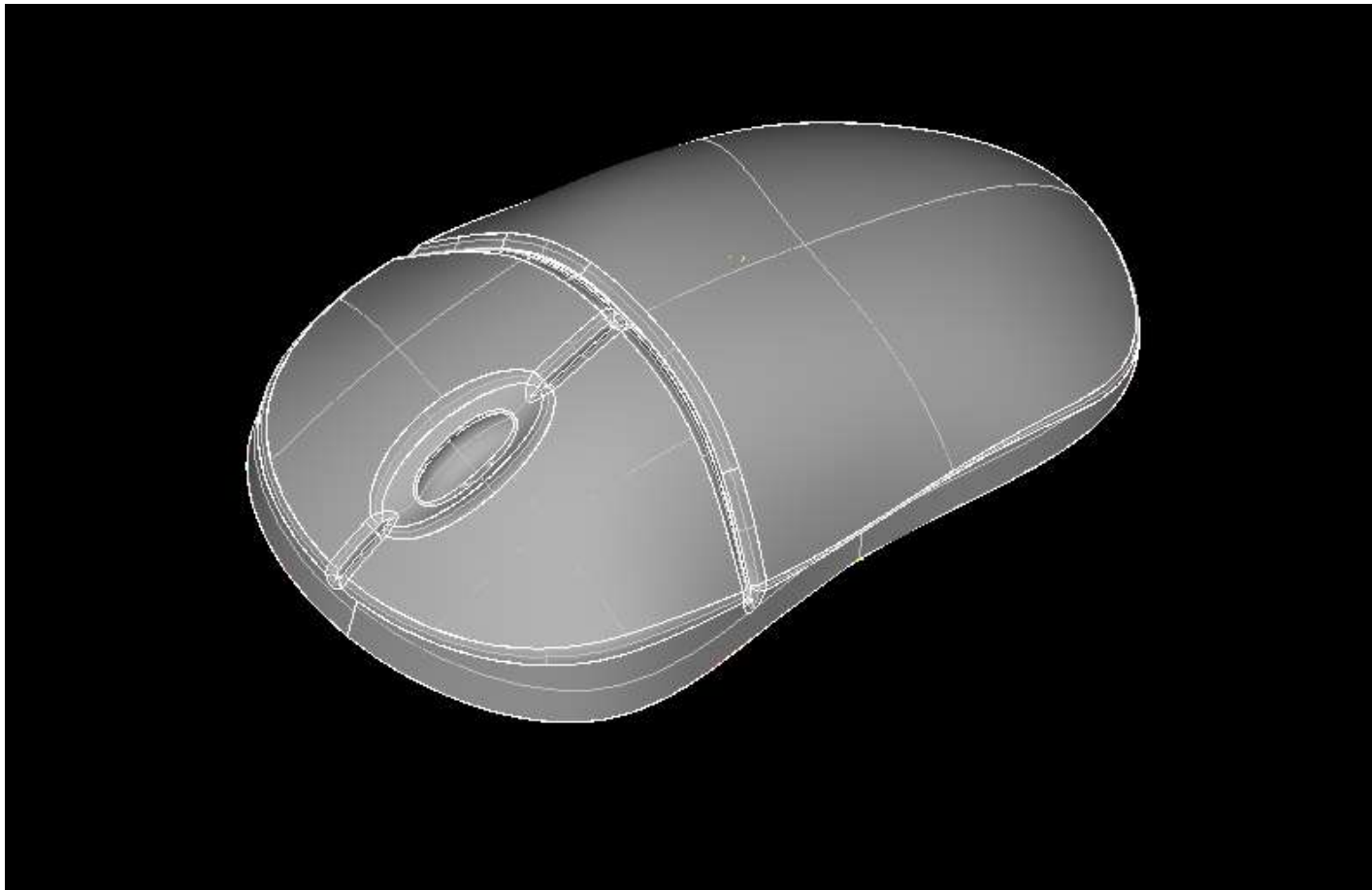


Vyhodnocení

barevné vykreslení odchylek: plastový dílec porovnaný vůči CAD modelu



VT-A-9-10-518_E







Strategie Vyrovnání kompletně integrované do WinWerth

3,2,1

MPA (RPS)

Hrubé vyrovnání

3D GaussFit

2D BestFit

2D ToleranceFit

- Rovina, Osa, Bod

- Více Bodové Vyrovnání (RPS)

- automatické, manuální

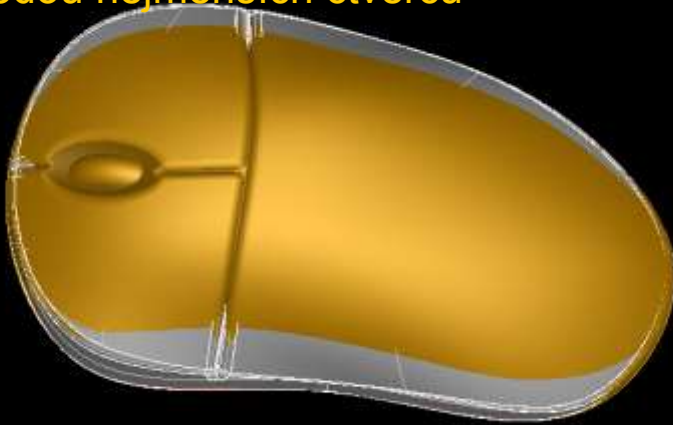
} - automatický BestFIT

- srovnání (všechny

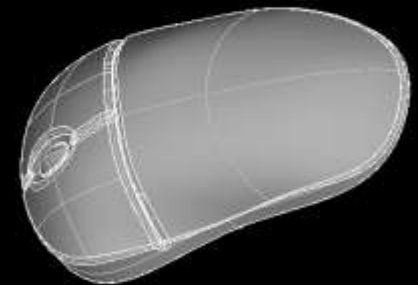
stupně volnosti jsou

možné ke kombinaci)

Výsledek automatického napasování metodou nejmenších čtverců

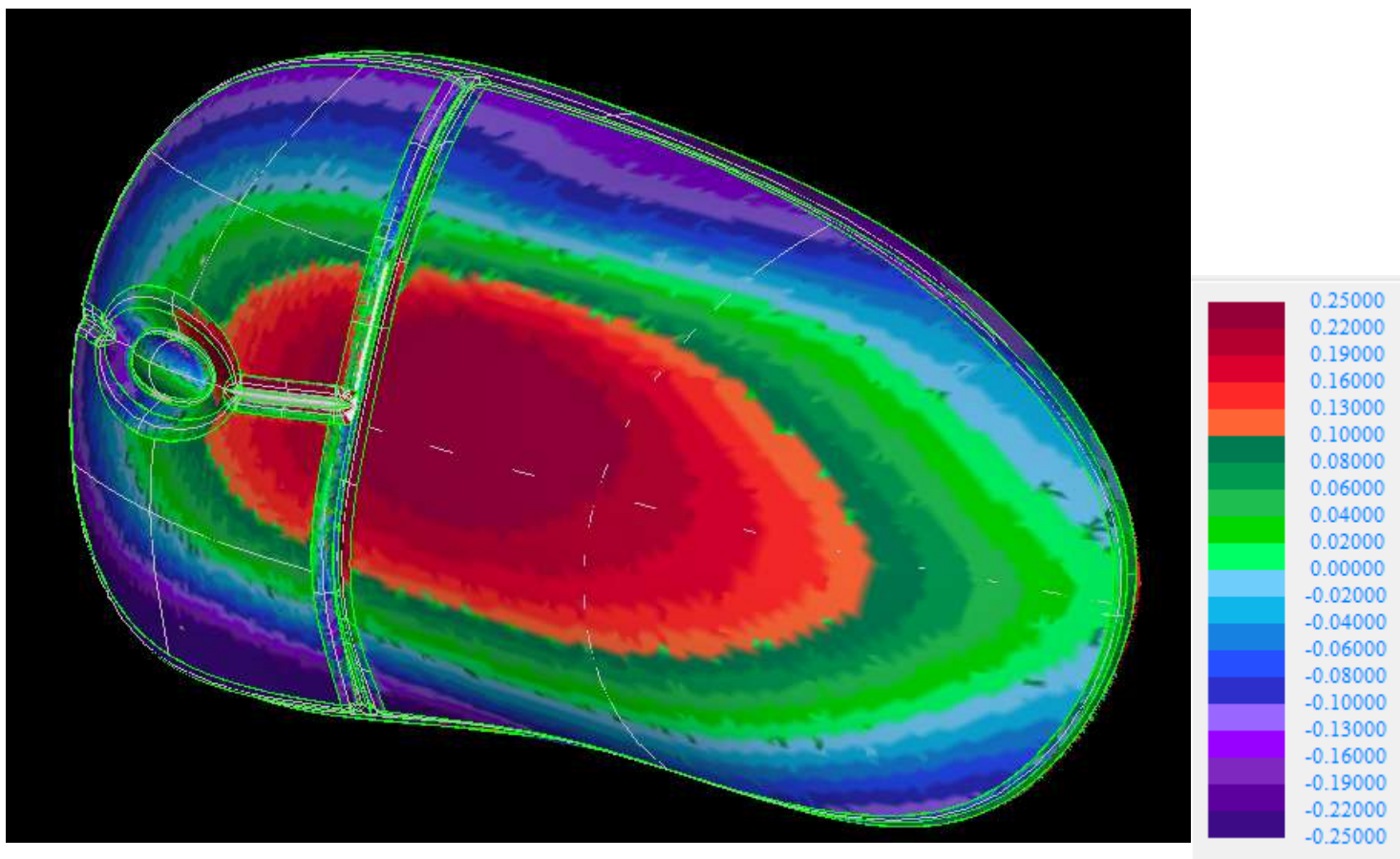


- o Sít' bodů bude automaticky srovnáno s CAD-Modelem (s nezávislou výchozí polohou) s ASC/STL do CAD- souboru (>2.000.0000 Bodů < 10 Sekund)
- o Program exaktně porovná, podle přednastaveného algoritmu, např. metodou: 3D-BestGaussFit, RPS; 3,2,1 nebo ruční strategií.



Aktuální-Nominální-Porovnání

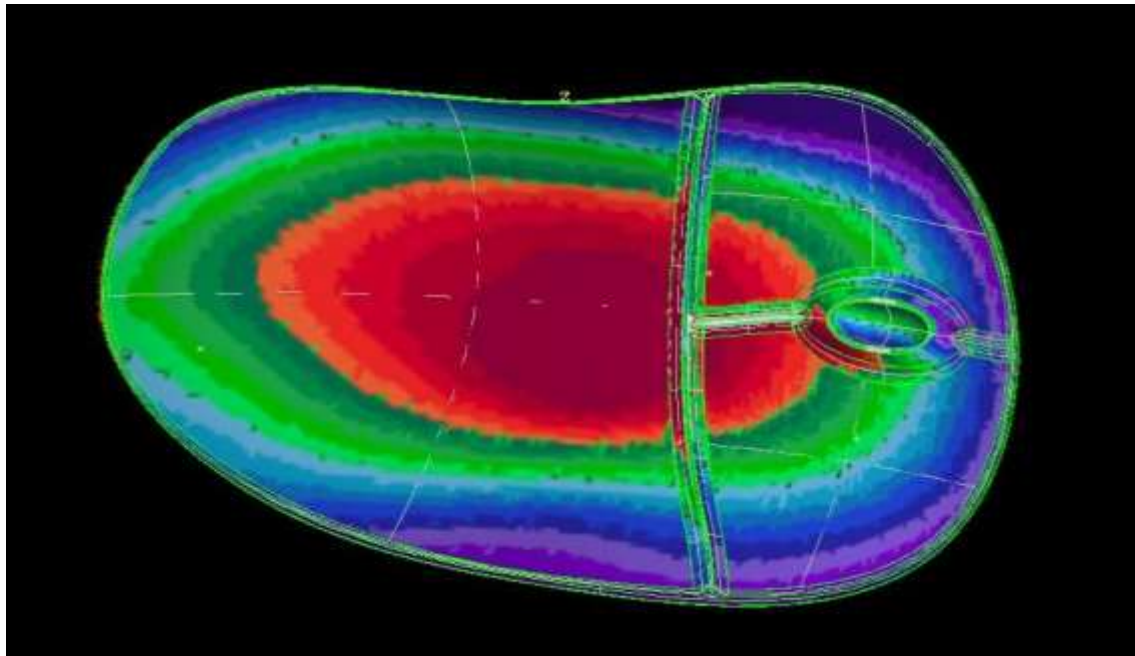
- o Zobrazení barevné analýzy po výpočtu odchylek Aktuální vs. Nominální jsou měřeny na dílcích
- o Škálu barev určuje editovatelný panel zobrazující konkrétní hodnoty odchylek



Vyhodnocení

barevné vykreslení odchylek: plastový dílec porovnaný vůči CAD modelu

- o Zobrazení barevné analýzy po výpočtu odchylek Aktuální vs. Nominální jsou měřeny na dílcích
- o Škálu barev určuje editovatelný panel zobrazující konkrétní hodnoty odchylek





Počítačová Tomografie Werth

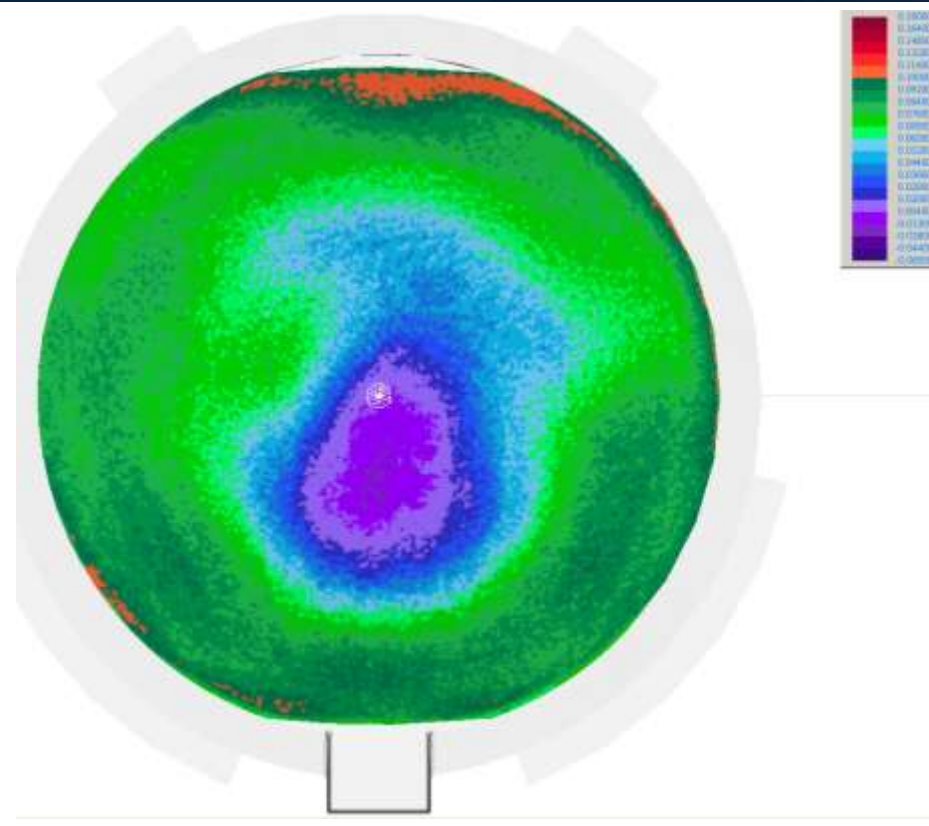
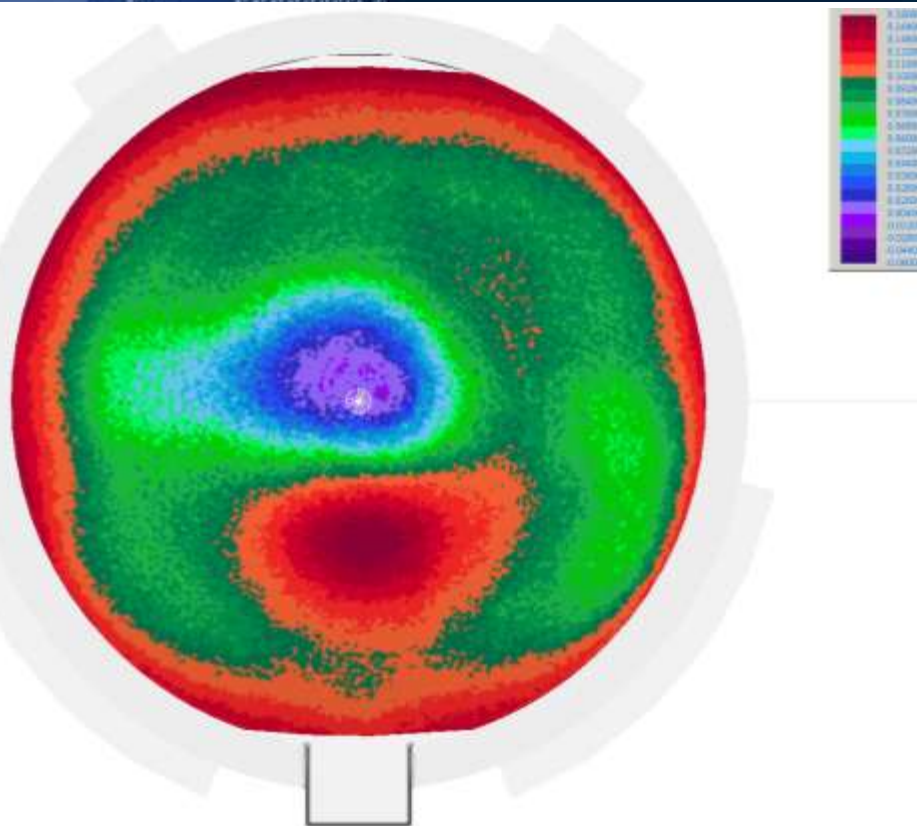
Korekce nástroje (Patent)



Počítačová Tomografie Werth

Korekce vstřikovacích forem LED světlometů



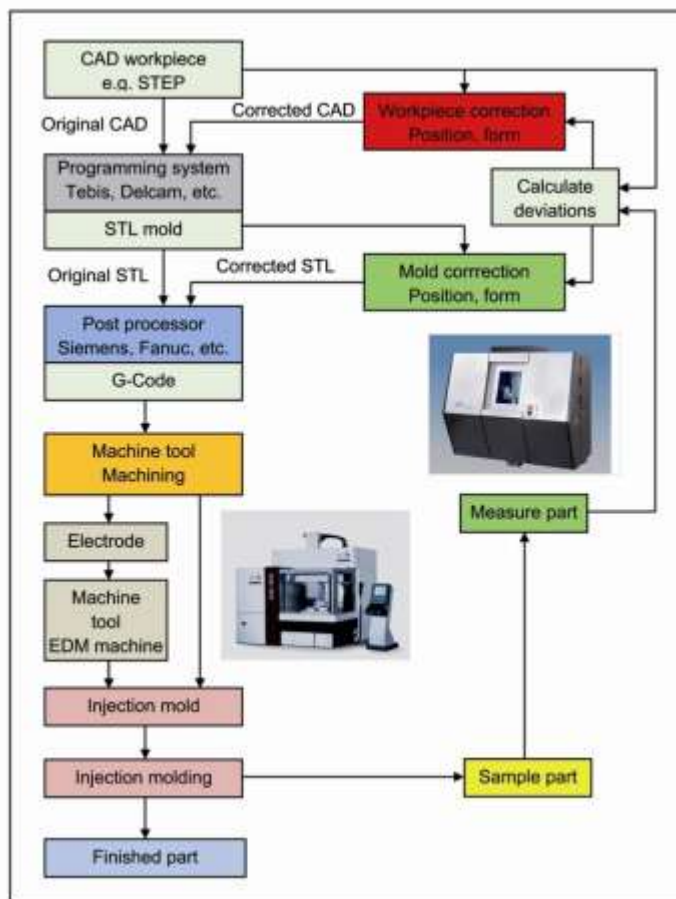


Tvar LED po první korekční smyčce!

Počítačová Tomografie Werth

3D korekce nástroje

Nejdůležitější kroky pro korekci formy

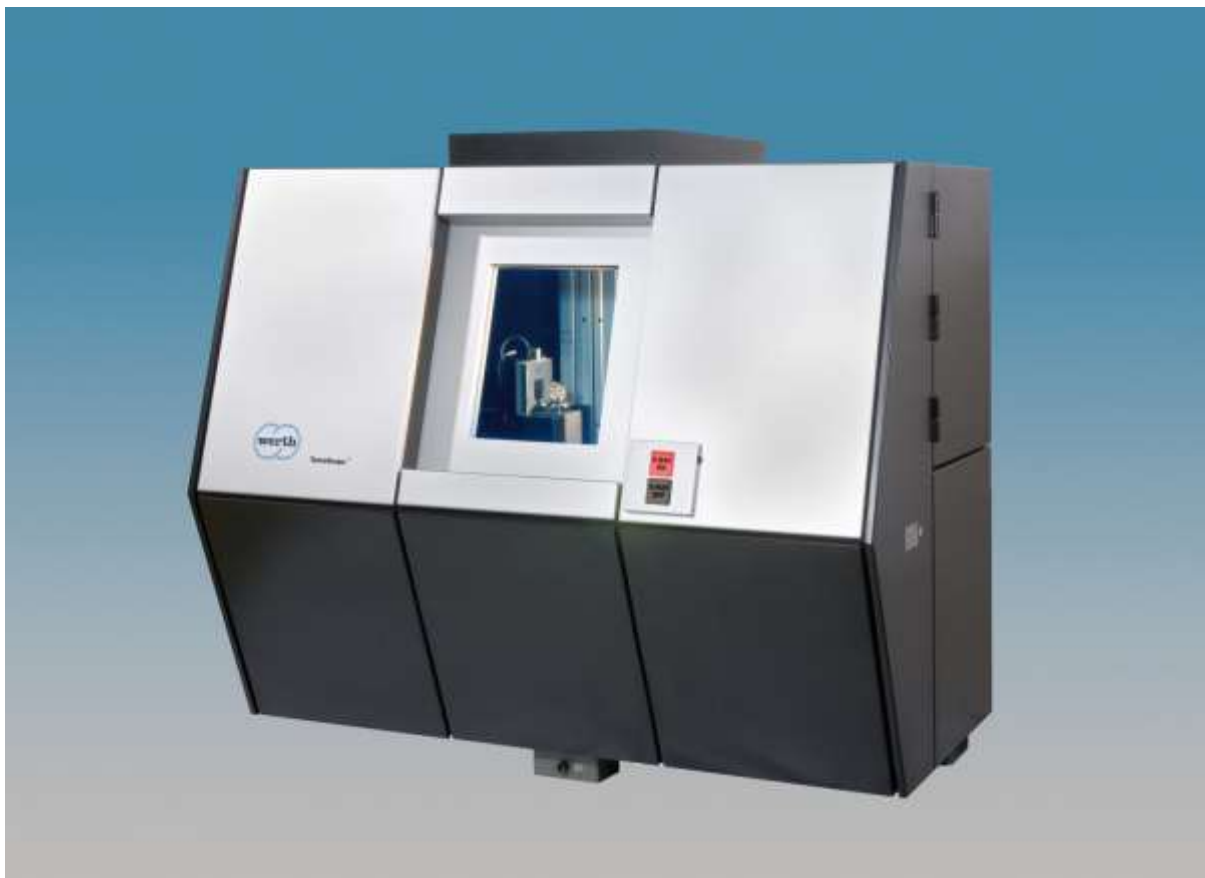




WinWerth®

Řízení stroje jedním uživatelským prostředím

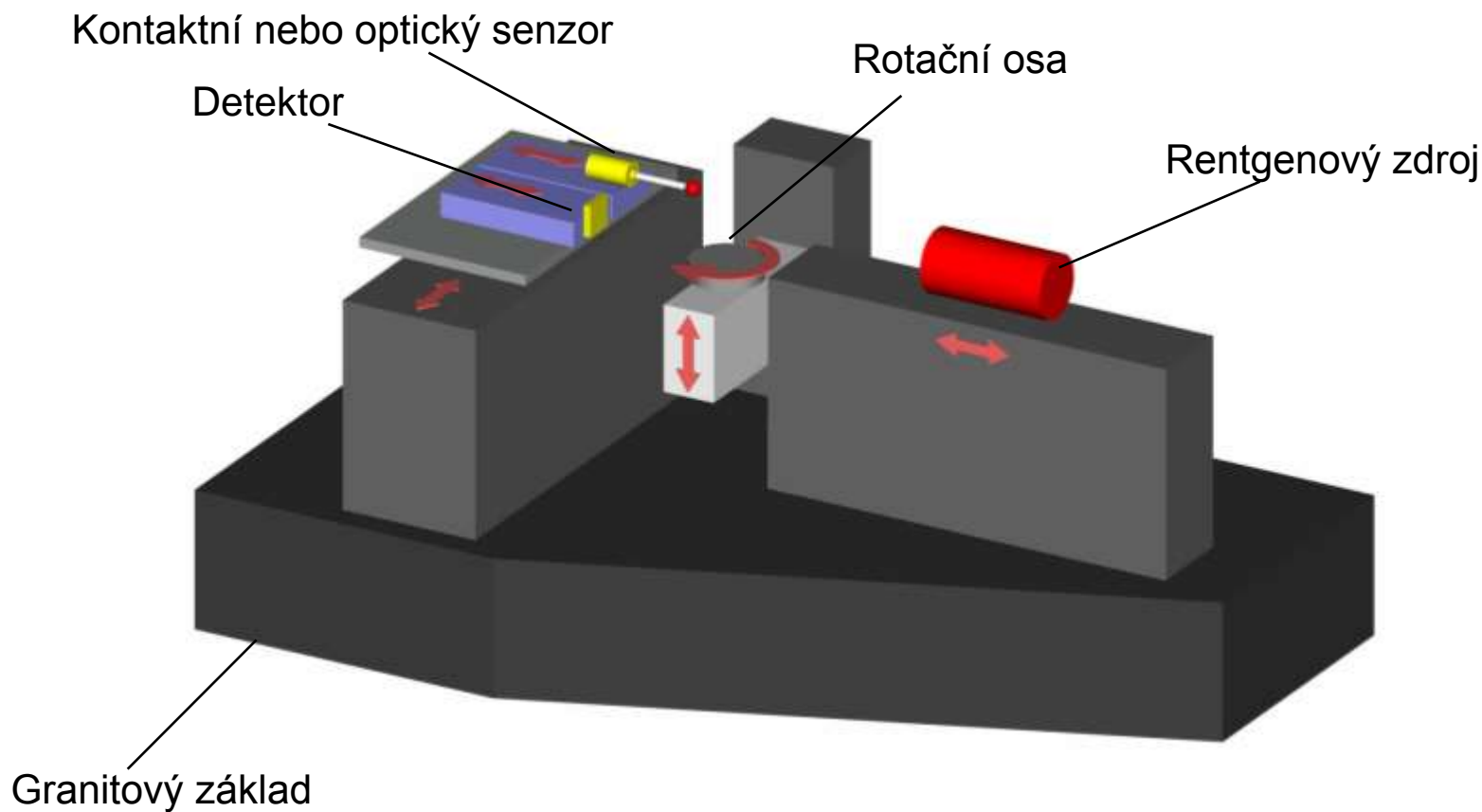
W i n W e r t h ®	User interface
	X-ray controls
	Image processing 2D
	Reconstruction 3D
	Surface analysis
	AutoCorrection
	BestFit 3D
	CAD comparison
	Dimensional measurement



Počítačová tomografie integrovaná do multisenzorového souřadnicového měřicího stroje
- Přesné a kompletní měření -

VT-A-9-02-0176_E

Alternativní dizajn stroje s rotační osou, kterou lze ustavit ve směru osy X:





Počítačová tomografie integrovaná do multisenzorového souřadnicového měřicího stroje
- Měření velkých dílců a komponentů s vysokou hustotou -

VT-A-7-3-0328_E



Počítačová Tomografie Werth

Werth TomoScope® HV 800/450 kV využíváná ve ŠKODA AUTO, a.s.



Werth TomoScope® HV 800
V olověné ochranné kabině

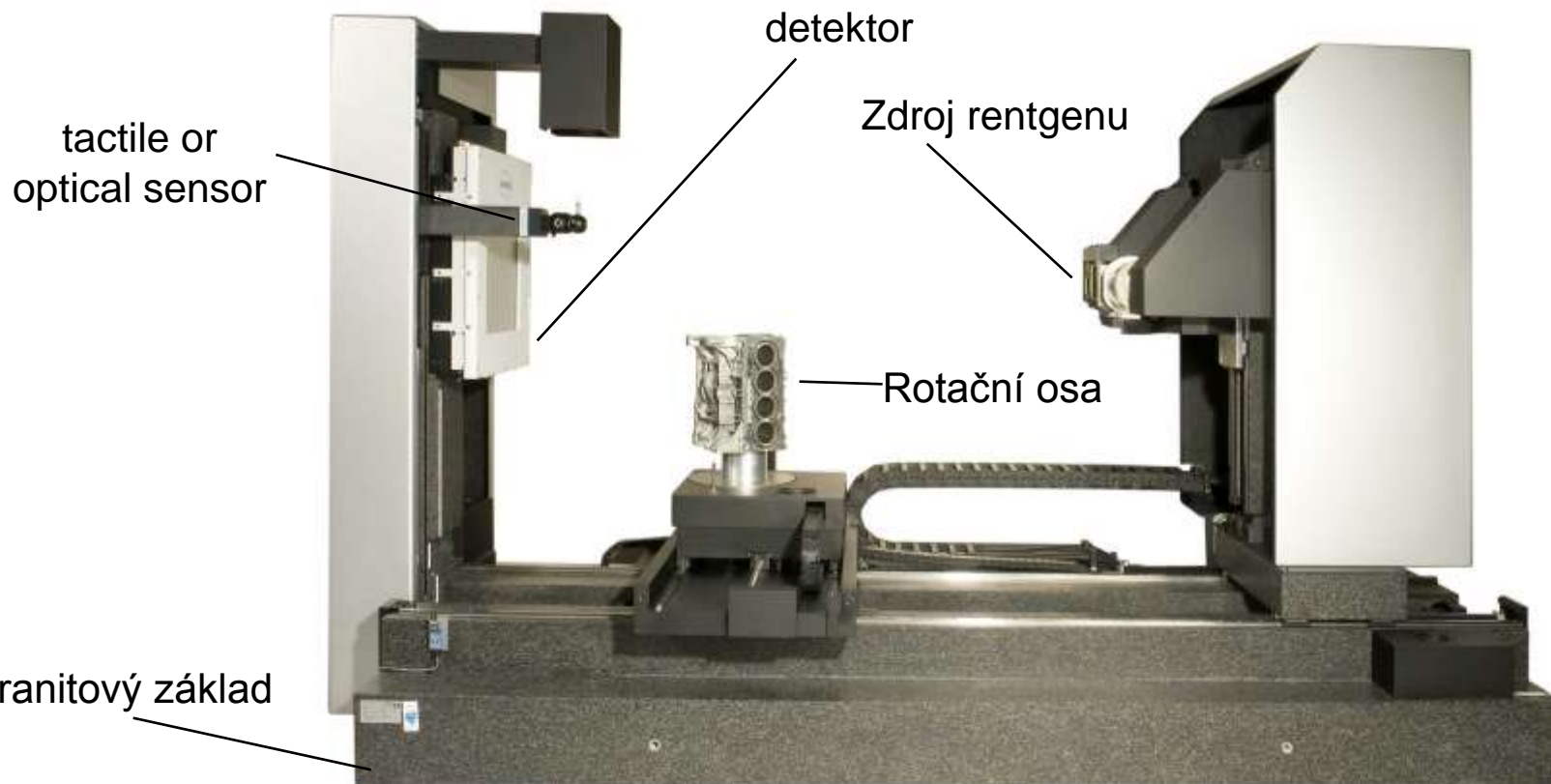
Pracovní stanice

Řídicí místnost

VT-A-12-01-0601_E

Počítačová Tomografie Werth

Werth TomoScope® HV 800 s rentgenovým zdrojem 450 kV



Souřadnicový měřicí stroj s počítačovou tomografií s důrazem na malý úhel paprsku kužele

Počítačová Tomografie Werth

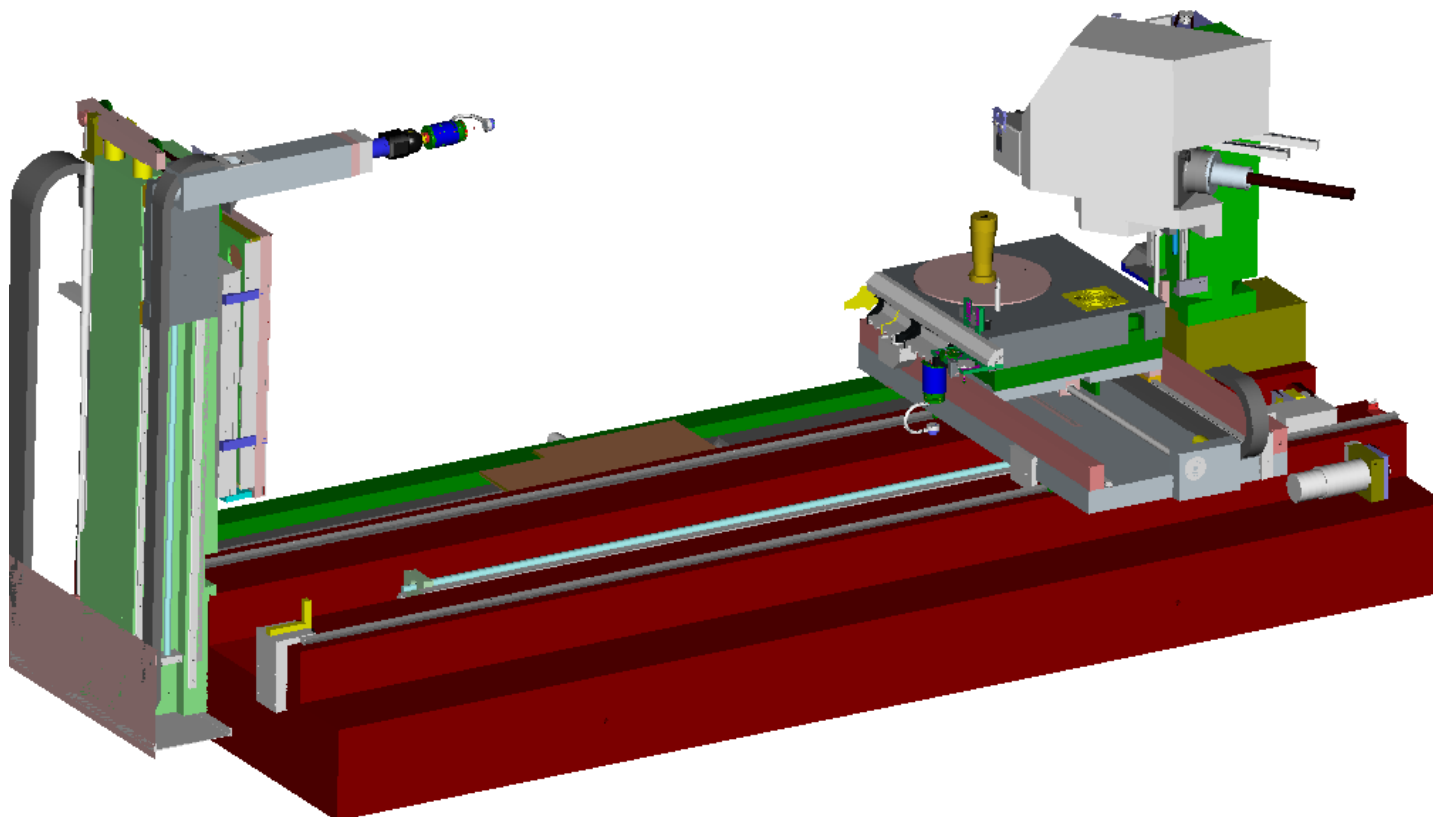
Werth TomoScope® HV 800 s rentgenovým zdrojem 450 kV



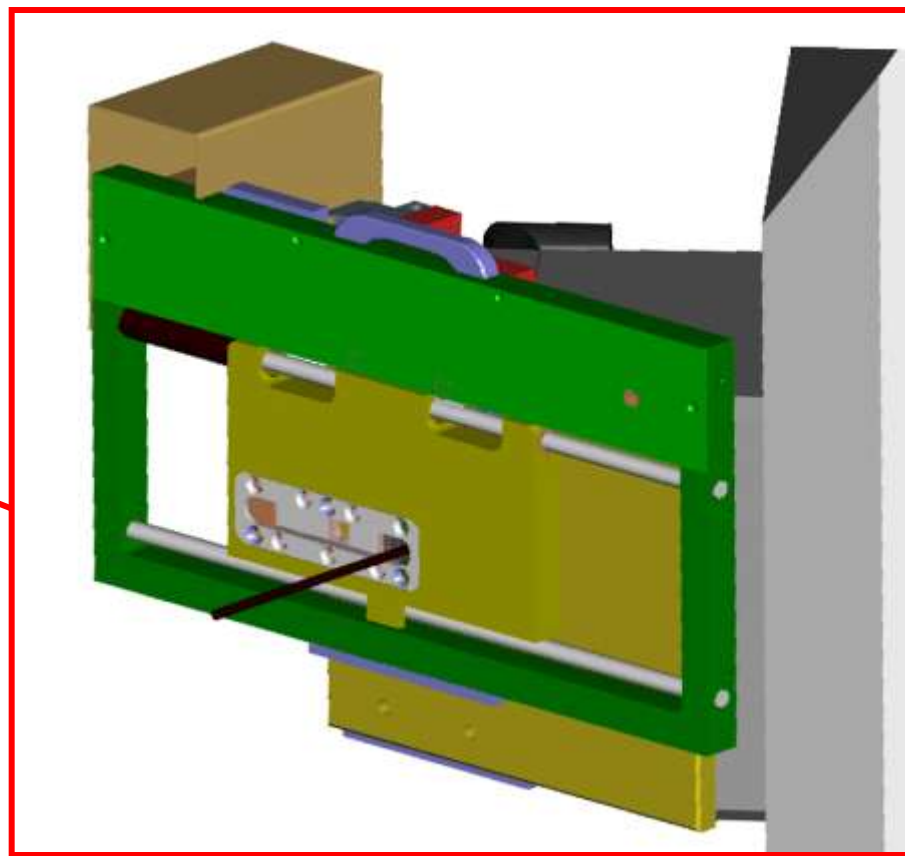
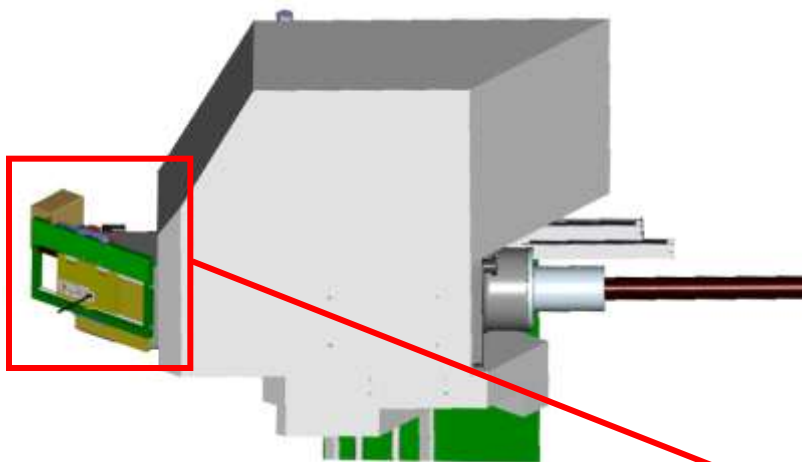
Souřadnicový měřicí stroj s počítačovou tomografií s důrazem na malý úhel paprsku kužele

TomoScope® HV 500 (500 & Compact): Rozšíření Volitelná rastrová tomografie HV → Vysoké Rozlišení

Měření malých prvků také na velkých komponentech při vysokém rozlišení



Werth CNC výměník filtrů



- pomocí programu lze zvolit 7 rozdílných filtrů

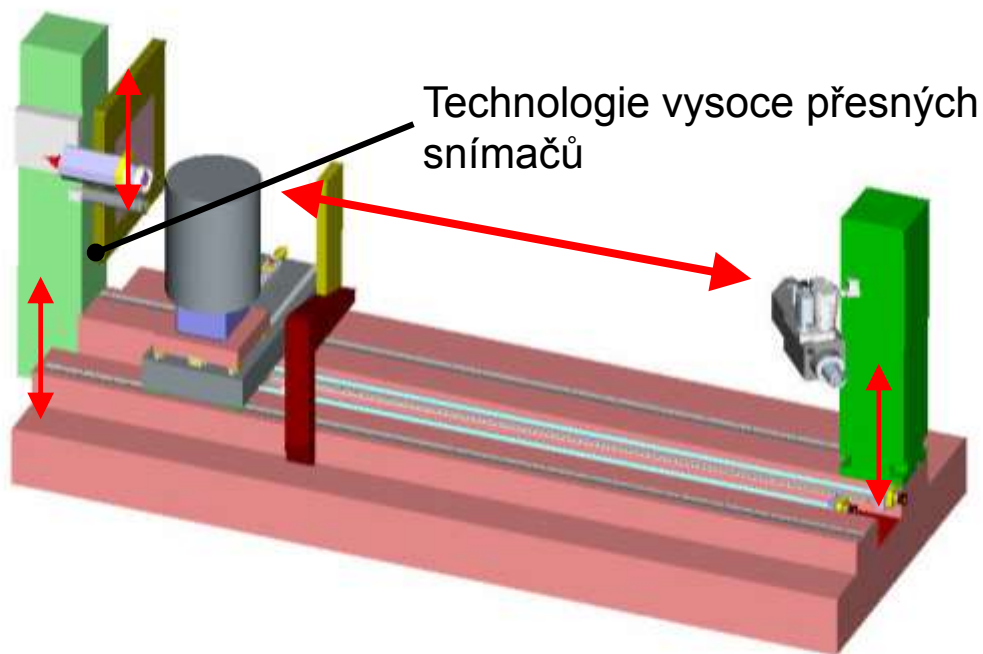
TomoScope® HV 500 (500 & Compact):

Rozšíření 2

Multisenzorová příprava HV

→ Vyšší přesnost měření, větší flexibilita

Kombinace s dalšími kontaktními a bezkontaktními senzory jako Werth Fiber Probe nebo Werth Laser Probe





Werth TomoCheck®



Computed Tomography in air-bearing Multisensor Coordinate Measuring Machine
- Complete 3D-Measurements with the highest precision -

VT-A-7-3-0329_E



Werth TomoScope® HV Compact



Počítačová Tomografie integrovaná do multisenzorového souřadnicového měřicího stroje
- Měření velkých dílců s vysokou hustotou materiálu -

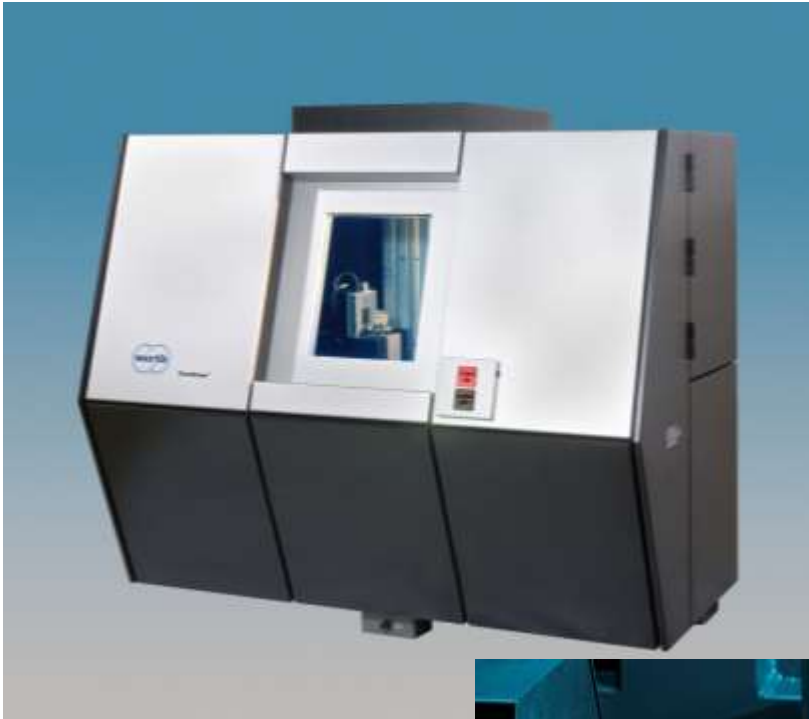
VT-A-11-12-0447_E

Příklady použití

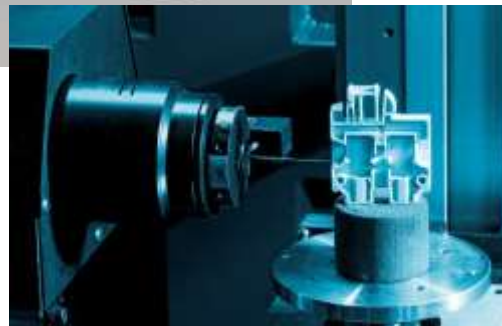
Werth souřadnicový měřicí stroj se senzorem pro počítačovou tomografii



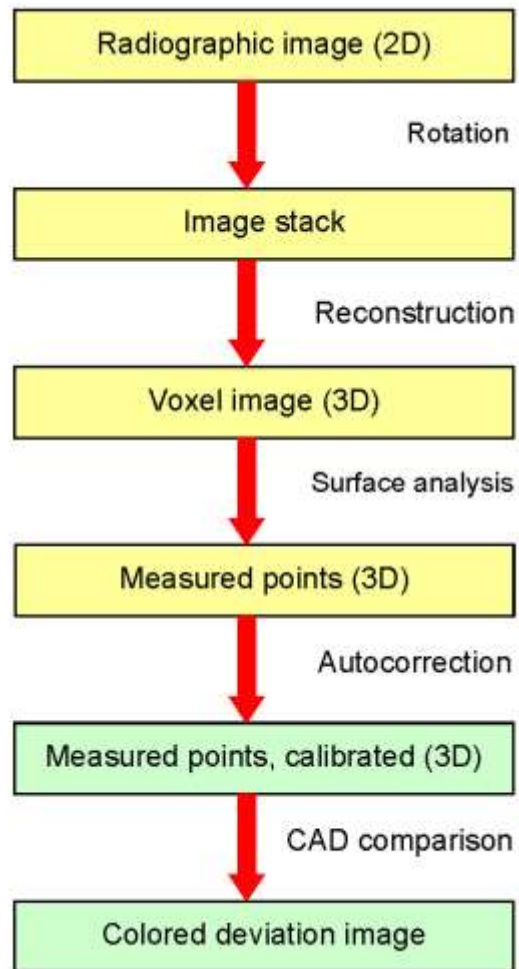
TomoScope[®] pro měření plastů



- Kompletní rozpoznání geometrie obrobku díky počítačové tomografii
- Vysoce přesné měření funkčních rozměrů zpracováním obrazu, laserem nebo mechanickou sondou
- Sledování měřených výsledků tomografie multisenzorovou technologií (patent v řízení)
- Kalibrace sítě bodů získaných rentgenovým snímačem prostřednictvím měření kalibračních bodů přesným kontaktním nebo optickým snímačem



Přesné a kompletní měření - Tomografie integrovaná do multisenzorového souřadnicového měřicího stroje



Srovnání

	Werth TomoScope®	Werth TomoCheck®	Werth TomoScope® HV	Werth TomoScope® HV Compact
Měřicí rozsah	Ø160 x 200	Ø 90 x 200	Ø 350 x 500	Ø 350x350
MPE (E)	E1: (2,5+L/120) µm E2: (2,9+L/100) µm E3: (4,5+L/75) µm	E1: (0,5+L/900) µm E2: (0,7+L/600) µm E3: (1,5+L/500) µm	E1: (2,5+L/120) µm E2: (2,9+L/100) µm E3: (4,5+L/75) µm	E1: (2,5+L/120) µm E2: (2,9+L/100) µm E3: (4,5+L/75) µm
Rentgen. zdroj	Obvykle 130kV, 40W	Obvykle 130kV, 40W	Obvykle 225kV, 320W	Obvykle max. 225kV, 320W
Detektor	1024x1024 Pixel, 50µm Velikost pixelu	1024x1024 Pixel, 50µm Velikost pixelu	2048x2048 Pixel, 200µm Velikost pixelu	1024x1024 Pixel, 200µm Velikost pixelu
Senzor	Fiber Probe Laser Zpracování obrazu	Fiber Probe Laser Zpracování obrazu	Fiber Probe Laser Zpracování obrazu Laser Line Probe	Fiber Probe Laser Zpracování obrazu Laser Line Probe

VT-A-8-6-0464_E

Požadavky na výkon rentgenového zdroje

	130 kV	150 kV	190 kV	225 kV	450 kV
Ocel / keramika	až do 5 mm	až do 8 mm	až do 25 mm	až do 40 mm	až do 70 mm
Hliník	až do 30 mm	až do 50 mm	až do 90 mm	až do 150 mm	až do 250 mm
Plast	až do 90 mm	až do 130 mm	až do 200 mm	až do 250 mm	až do 450 mm

Plastové konektory
Kryty mobilních telefonů
Zubní implantáty

Vsazené konektory
Kryty čerpadel
Titanové implantáty

Písty motorů
Elektro motory
Vstříkovací trysky

Brusné kotouče
Vrtáky
Zirkonové implantáty

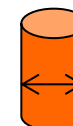
Bloky motorů
Přístrojové desky
Lopatky turbín

Tyto hodnoty jsou pouze orientační. Celková síla stěny je závislá na geometrii materiálu:

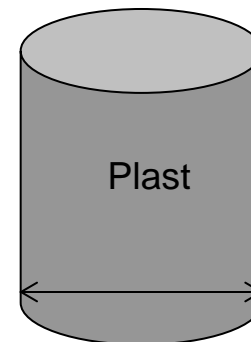
Ocel a
keramika



Hliník



Plast



- Souřadnicové měřicí stroje se senzorem pro počítačovou tomografii lze použít pro měření dílců se středně přísnými tolerancemi dílce – od 50 μm až do 200 μm
- Pro vyšší přesnost je nutná korekce systematických odchylek tomografie s přihlédnutím k geometrii obrobku a materiálu.
- Díky Werth AutoCorrection a sledování výsledků měření CT na reálném dílci je možná korekce systematických chyb měření.
- Multisenzorový souřadnicový měřicí stroj se senzorem pro počítačovou tomografii lze použít i pro měření přísněji tolerovaných dílců – tolerance od 15 μm až do 50 μm
- Multisenzorový souřadnicový měřicí stroj se senzorem pro počítačovou tomografii také umožní měření dílců sestávajících se z více materiálů

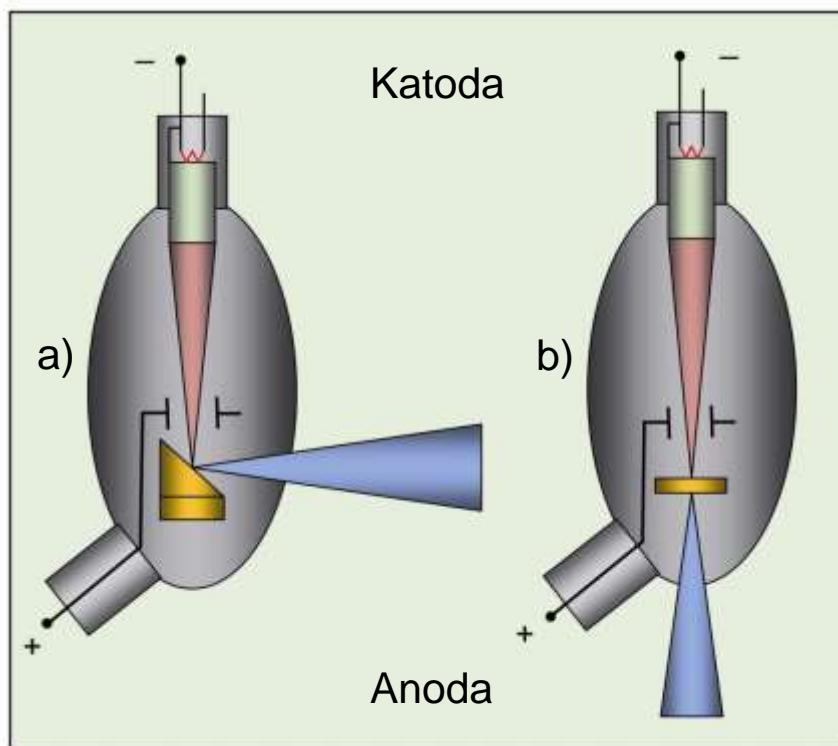


----- Počítačová Tomografie -----



Základní informace

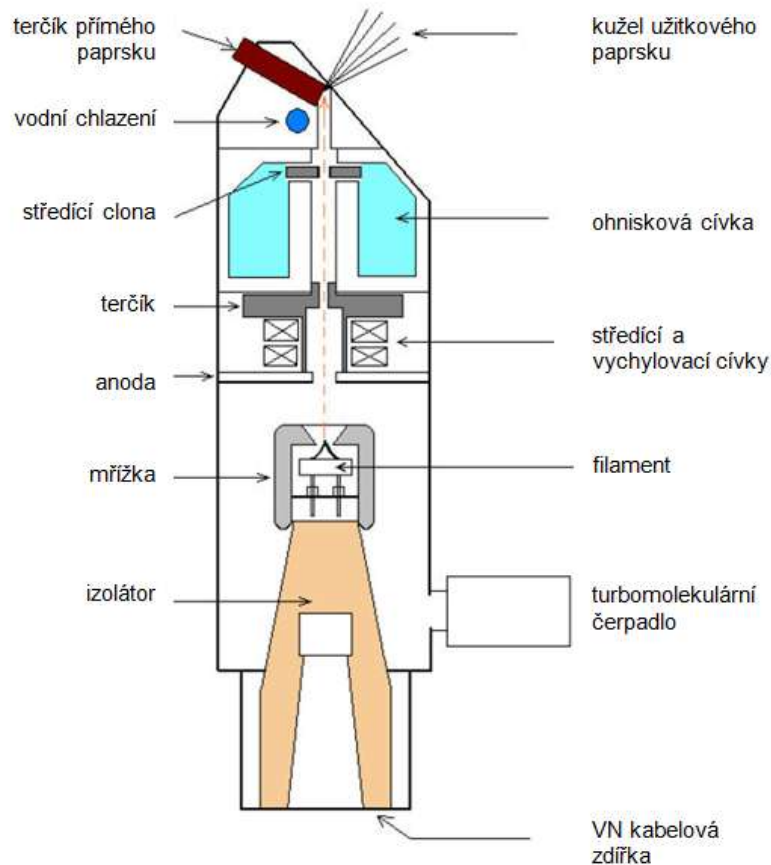
Zahřátá katoda vysílá elektrony ve vakuu. Ty jsou urychlovány elektrickým polem mezi katodou a anodou. Jakmile dopadnou na cíl je převedeno vysílání elektronů na vyzařování rentgenových paprsků. a) Reflexní terčič, b) Přenášecí terčič.



Počítačová Tomografie Werth

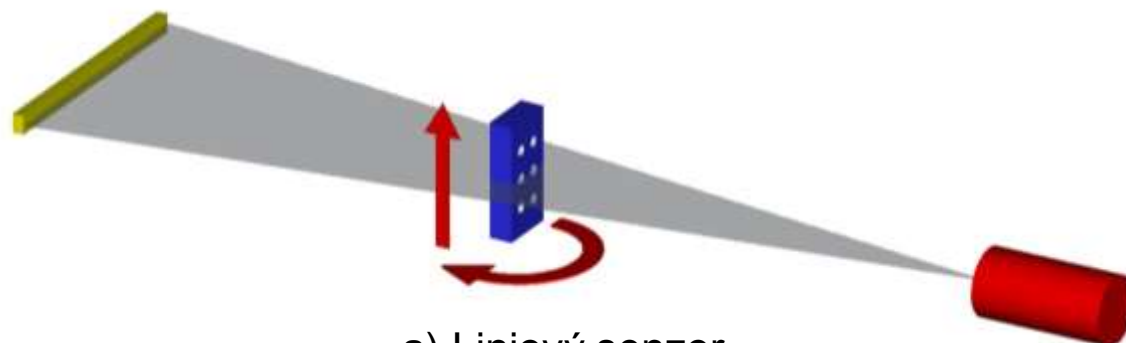
rentgenová trubice

Schema 225 kV microfocus rentgenky s otevřenou konstrukcí.

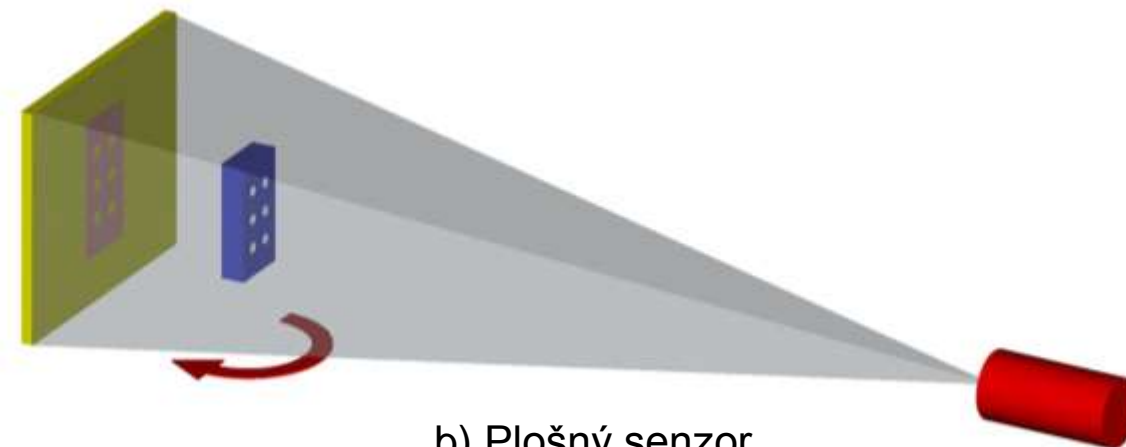


- Ohnisko musí být při stoupajícím výkonu defokusováno, aby se materiál terčiku neroztavil.

Tomography with:

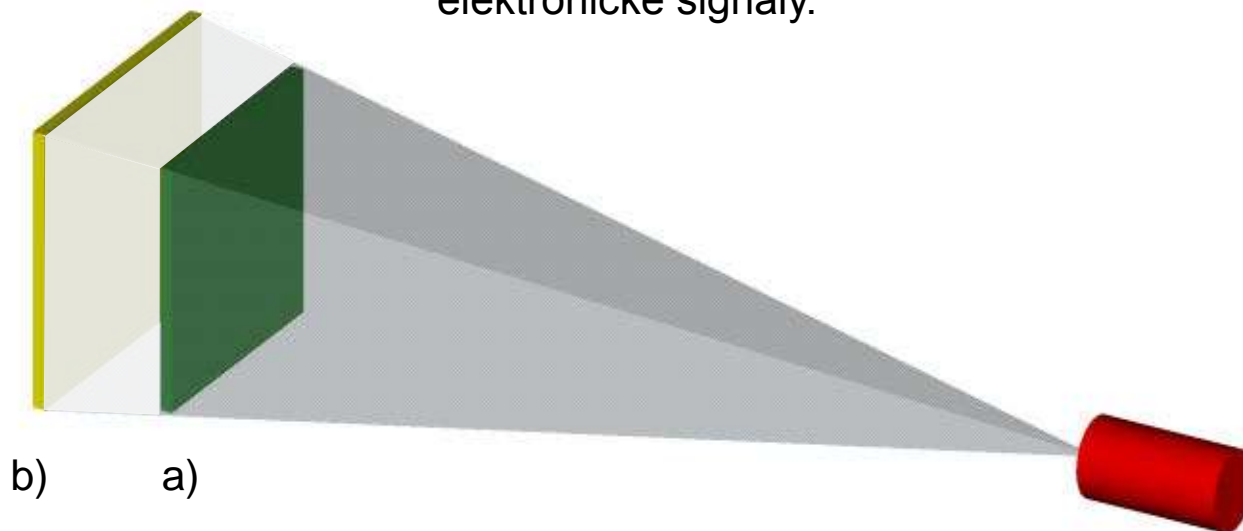


a) Liniový senzor

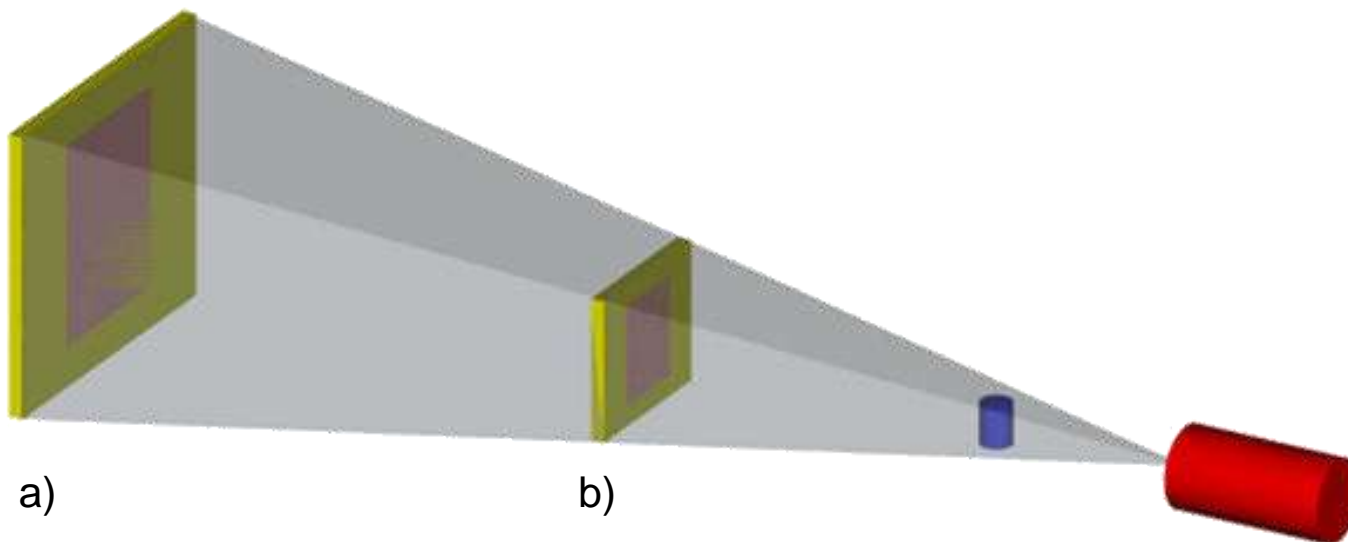


b) Plošný senzor

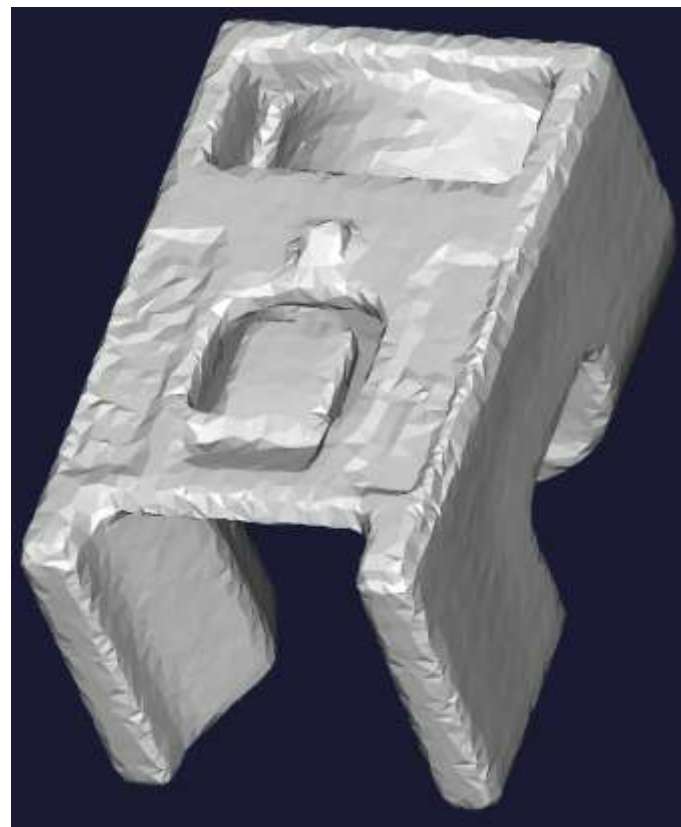
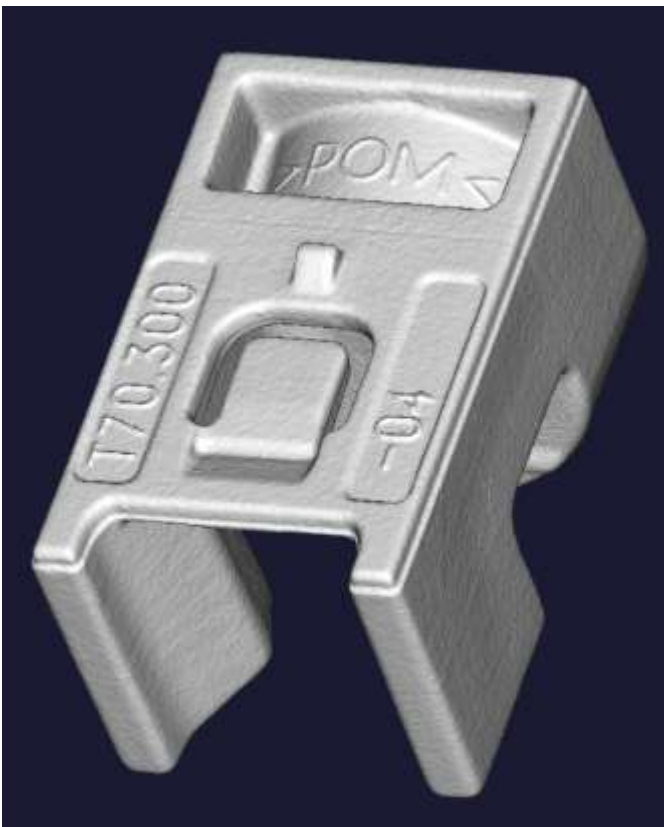
Matice detektoru se scincilátorem (Scincilátor je součást detektoru gama záření. Jde v podstatě o krystal NaI s příměsí Thalium): Rentgenový snímek je převeden na obrázek ve viditelném spektru pomocí scintilátoru (a). Foto sensorické pole (b) je přeměňováno na elektronické signály.



Zvětšení a rozsah měření pro různé velikosti snímače - rozlišení je nezávislé na velikosti snímače: a) Velký senzor, b) Malý senzor.



Rozlišení struktury



- Struktura rozlišení popisuje rozpoznatelnost detailů. Není přímo závislá na nejistotě měření!

Struktura rozlišení – co znamená?

Faktory ovlivňující strukturální rozlišení použitím tomografie:

- Velikost ohniskového bodu
- Rozlišení detektoru
- Zvětšení
- Rotační osa





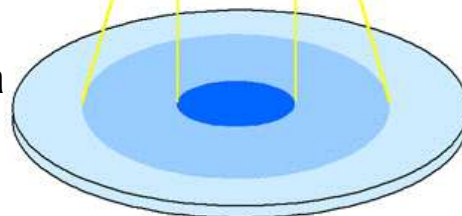
Ohniskový bod



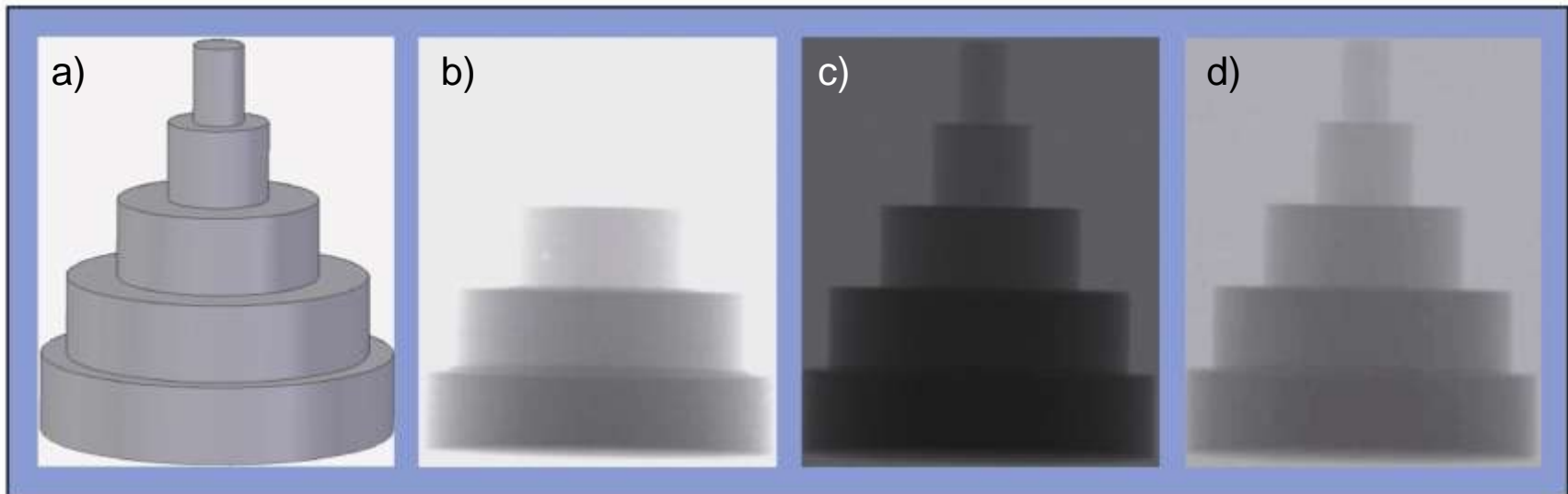
Měřený objekt



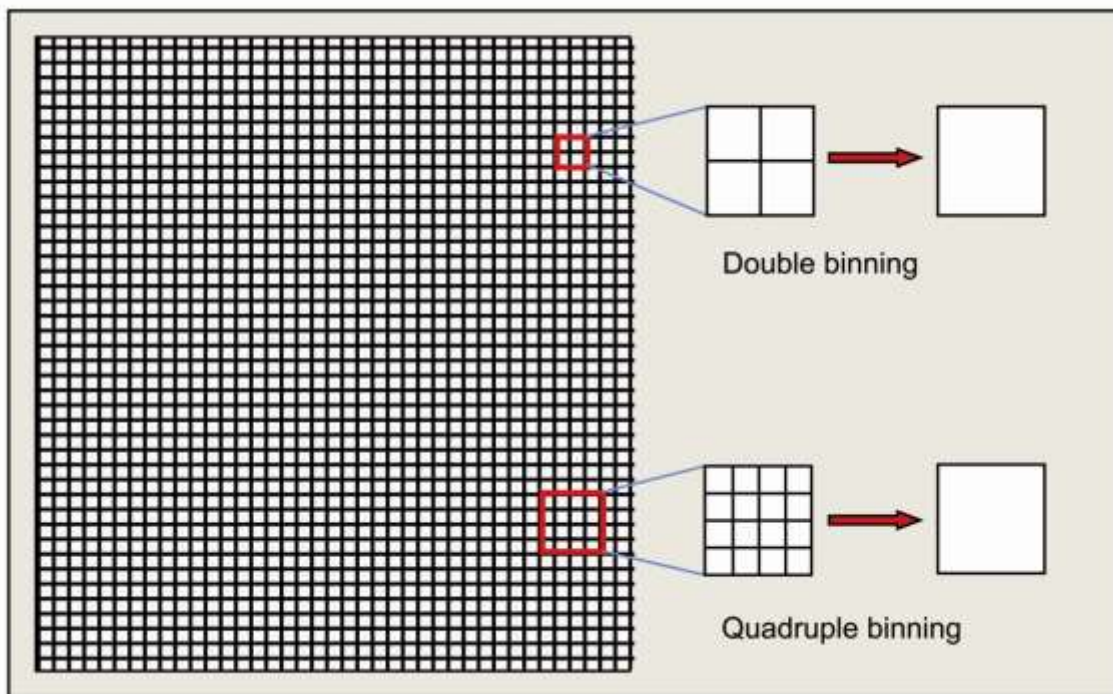
Názorná ukázka



- a) Měřený objekt,
b) Snímání masivních oblastí objektu s vysokou intenzitou: světlé oblasti zobrazují ztracenou část,
c) Snímání dříve přexponovaných oblastí: dolní část je příliš tmavá,
d) Obě měřené oblasti jsou zkombinovány k získání výsledků měření.

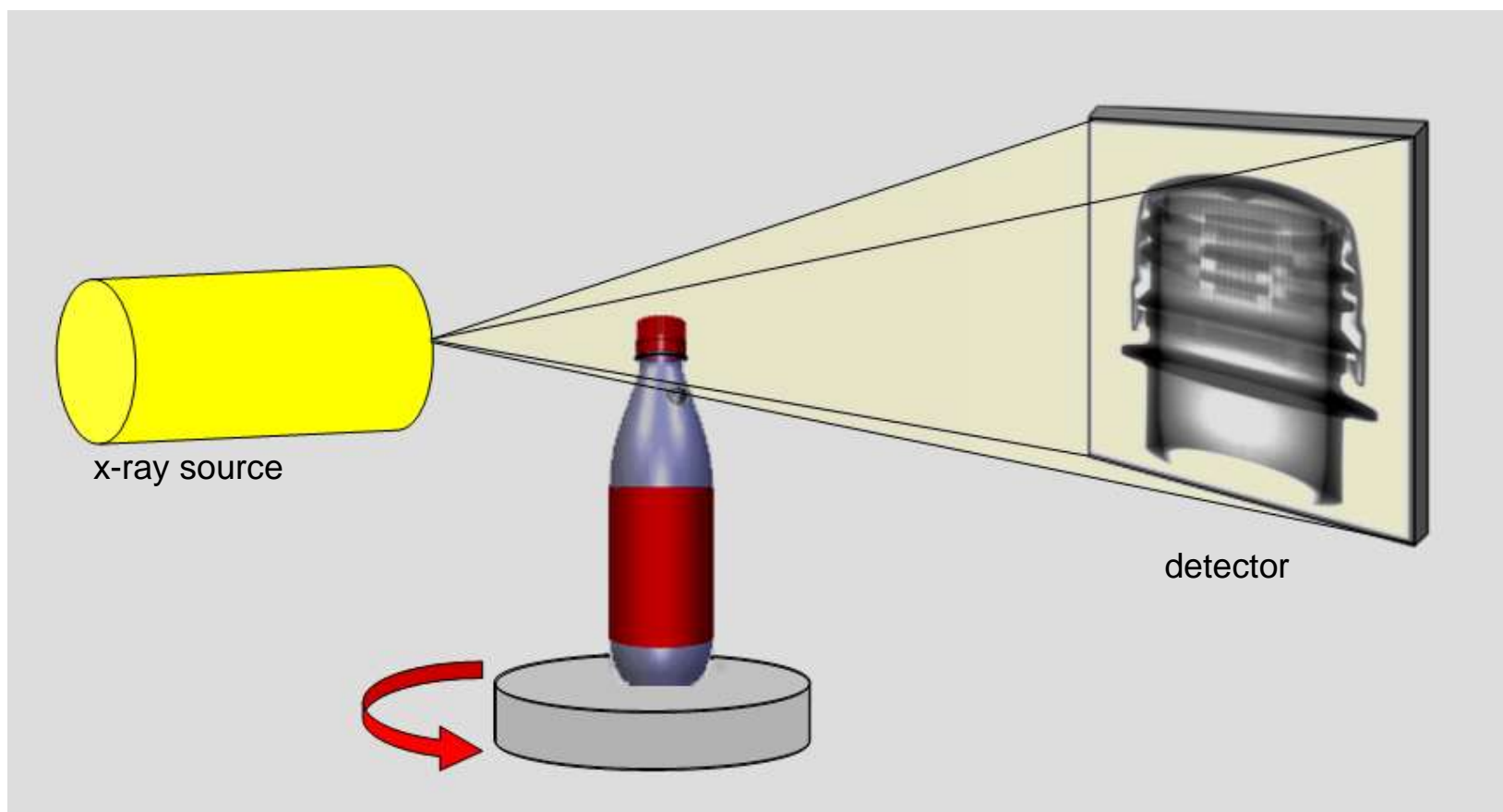


Binning – sloučení pixelů k redukci velikosti dat

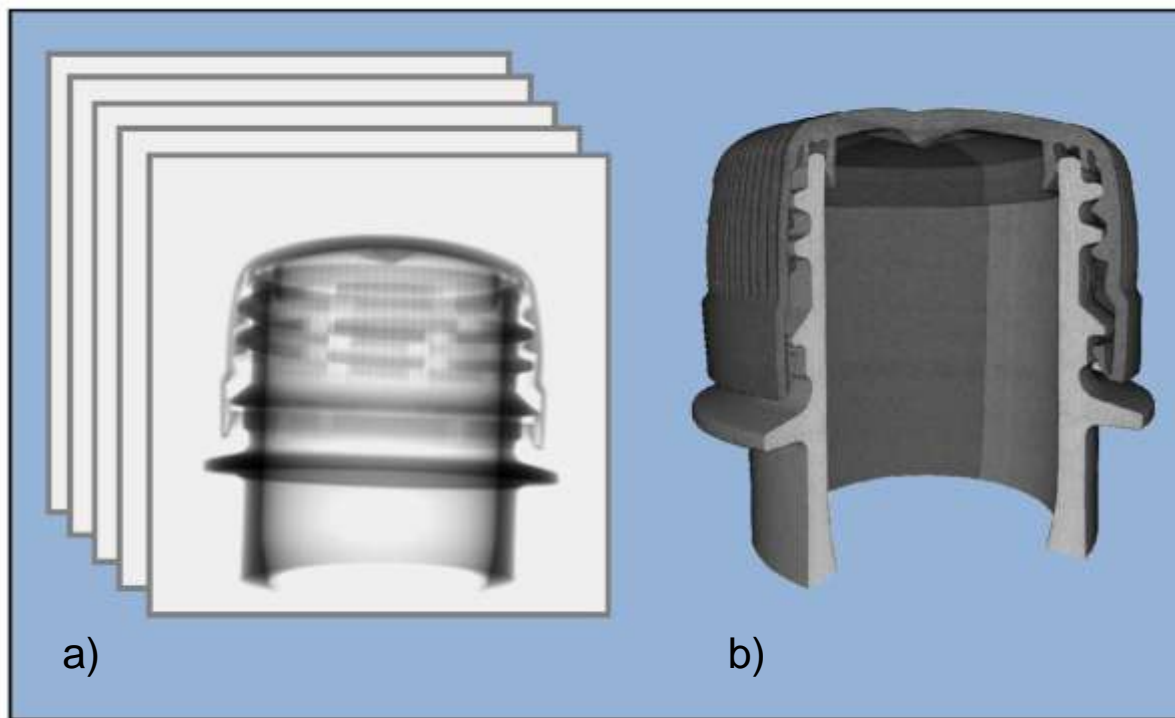


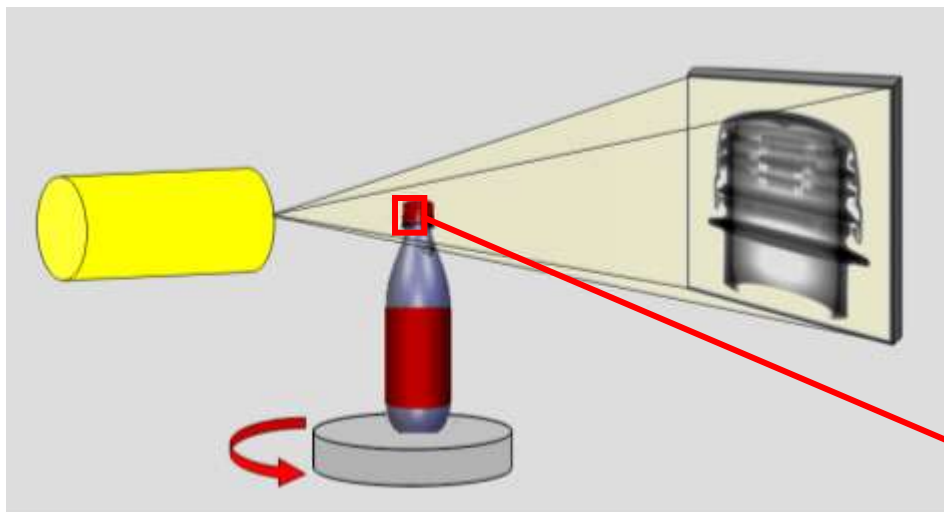
„Scanning“ součásti

- 400, 800 nebo 1600 rentgenových snímků je zachyceno detektorem

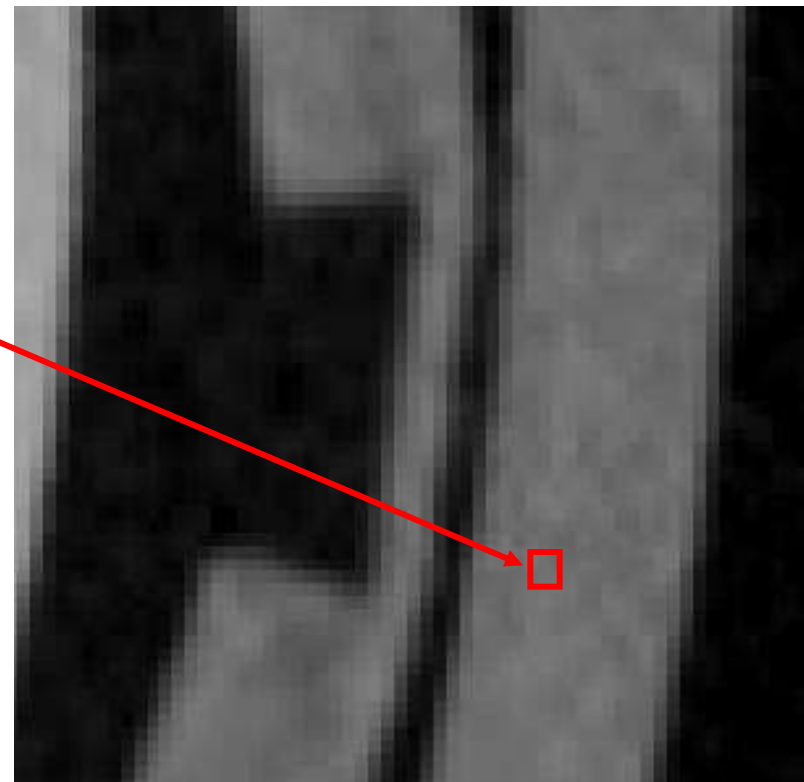


Z pixelu na voxel: z 2D snímků (a) je vytvořen 3D snímek zobrazen voxelovou grafikou (b).

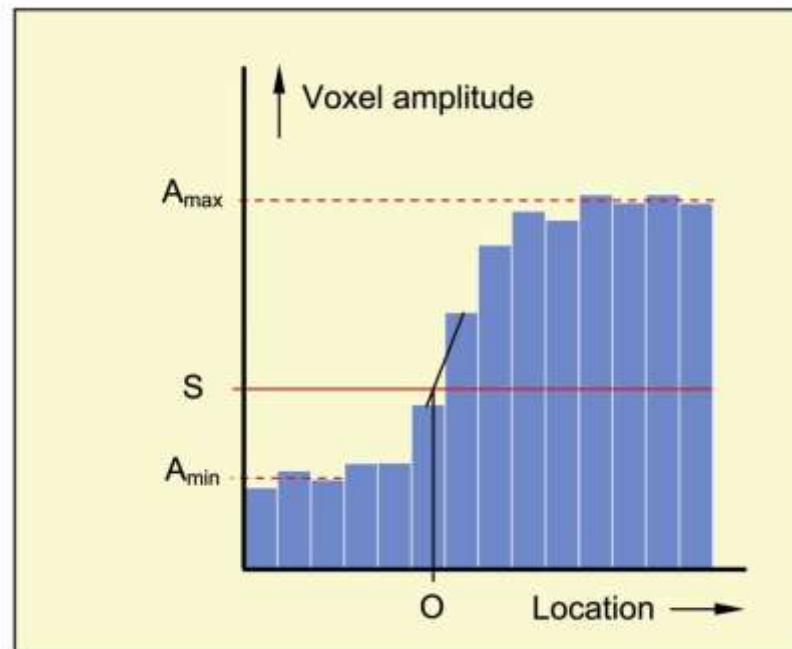




- Úroveň šedi voxelu odpovídá koeficientu absorpce materiálu na dané poloze v dílci
- Voxel má objem

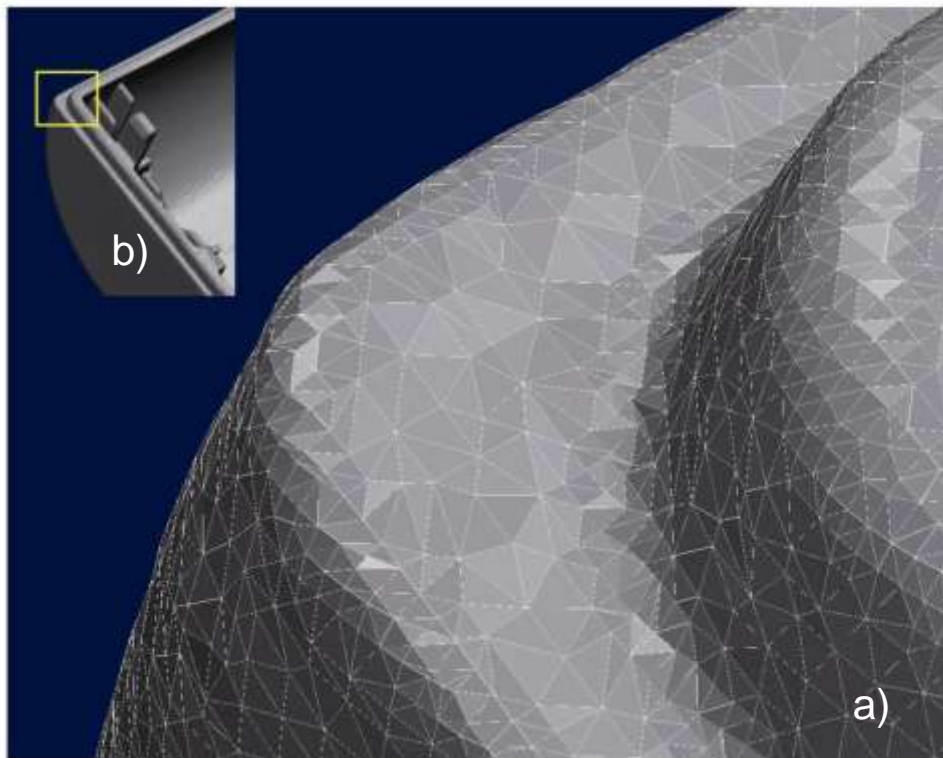


Základní princip lineární interpolace k získání souřadnic povrchu z informací amplitudy voxelu: precizní umístění okrajů **O** je definováno jako průsečík lokální prahové hodnoty **S** (s ohledem na A_{\max} a A_{\min}).

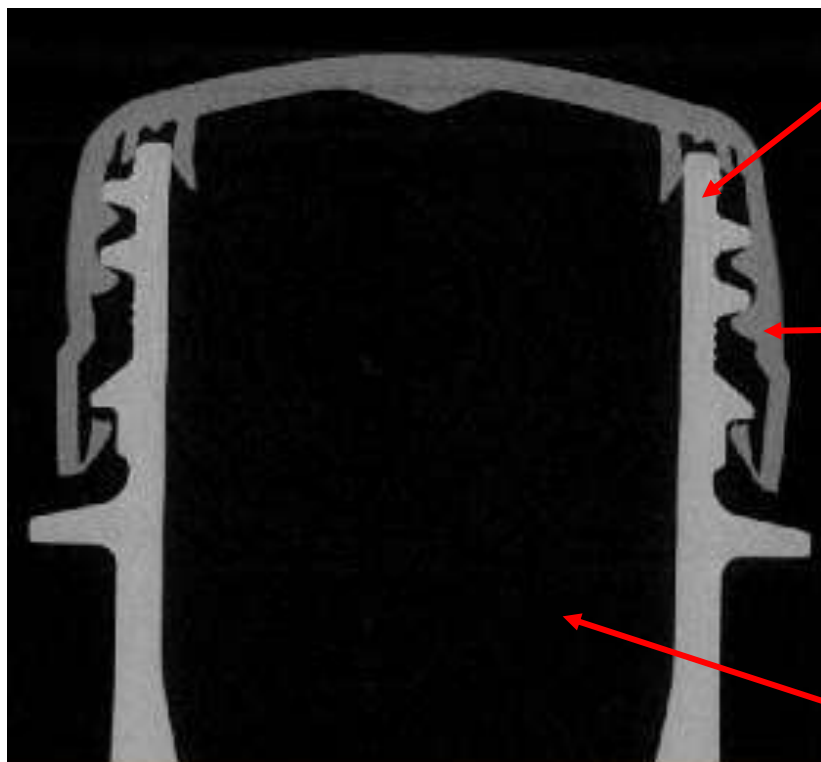


Dílec měřený pomocí počítačové tomografie – měřené body zobrazené ve formátu STL:

a) Náhled, b) Segment s viditelnými trojúhelníkovými ploškami.



Absorpce rentgenového záření



PET láhev absorbuje nejvíce rentgenového záření

Měkký plastový kryt vytváří menší kontrast

Vzduch nepohlcuje téměř žádnou radiaci



Nedestruktivní testy

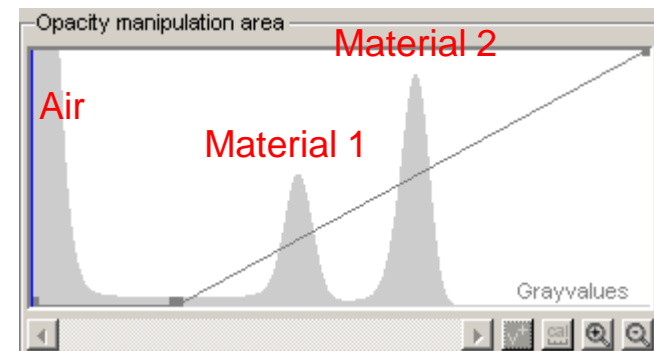
Separace rozdílných materiálů



Grey scale according to material density



2D cross section

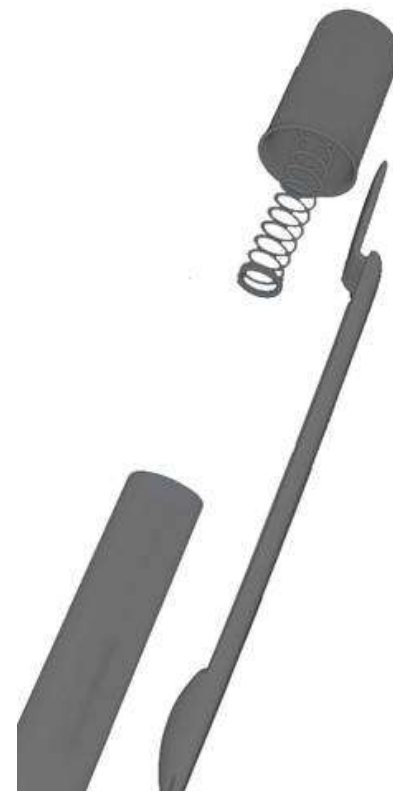


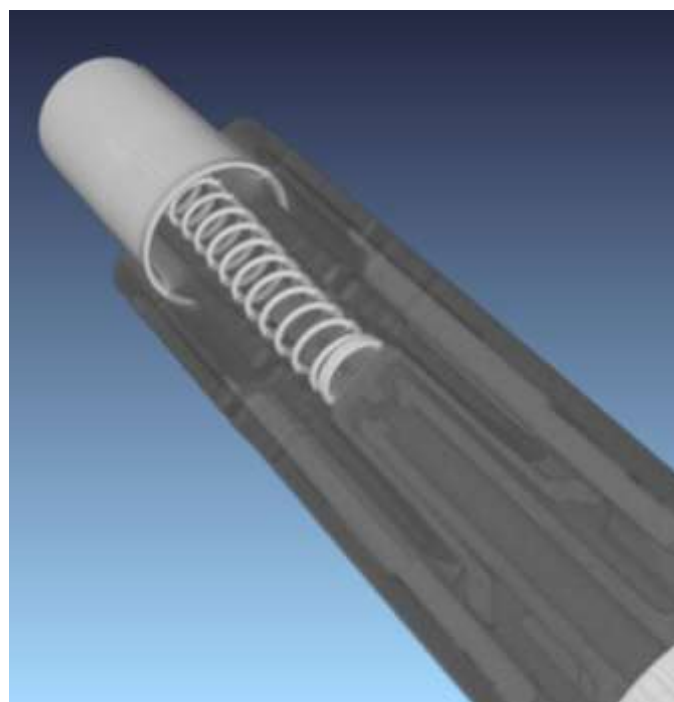
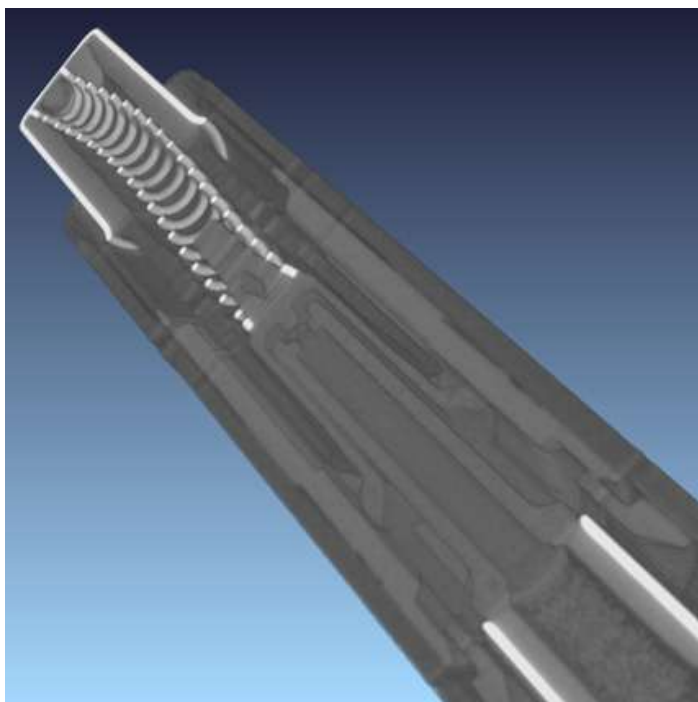
Histogramm

Separace rozdílných materiálů

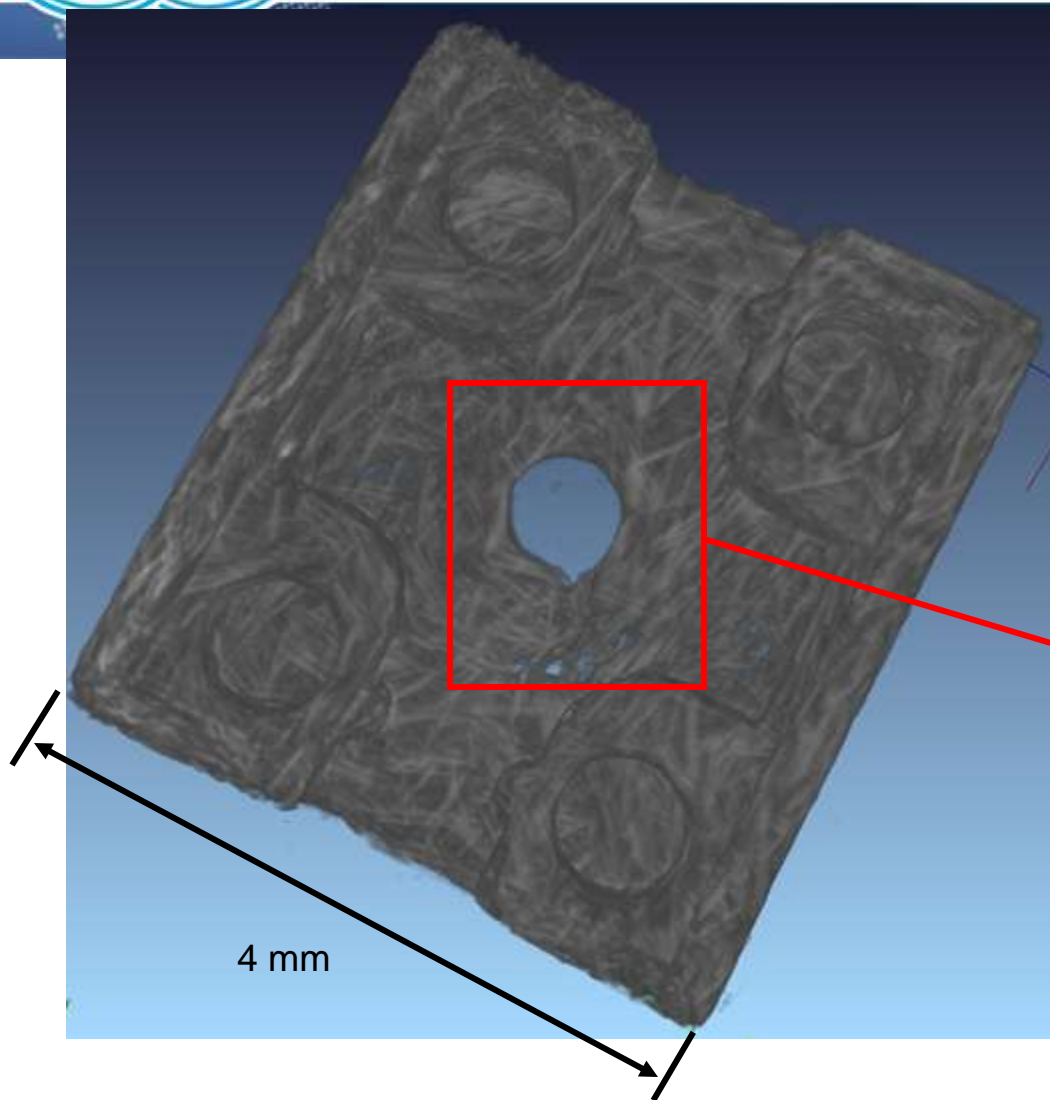


Separace více materiálů

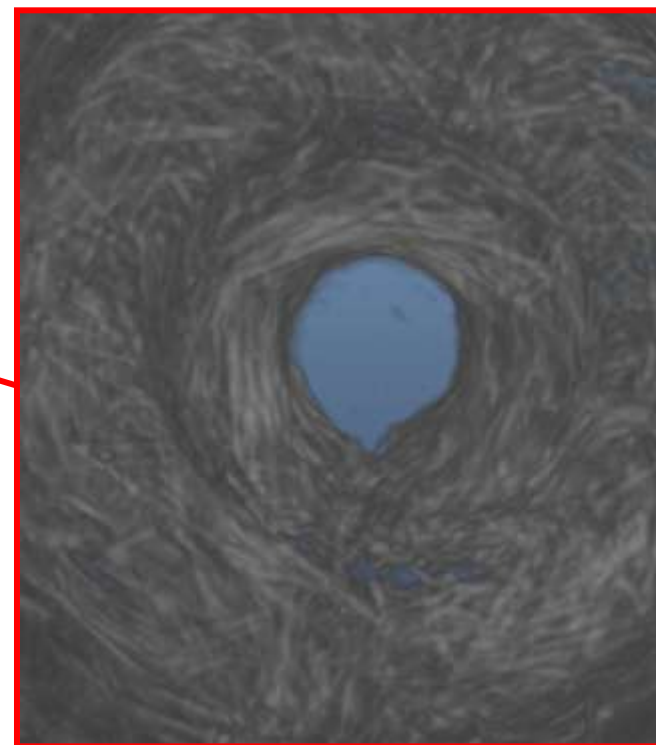




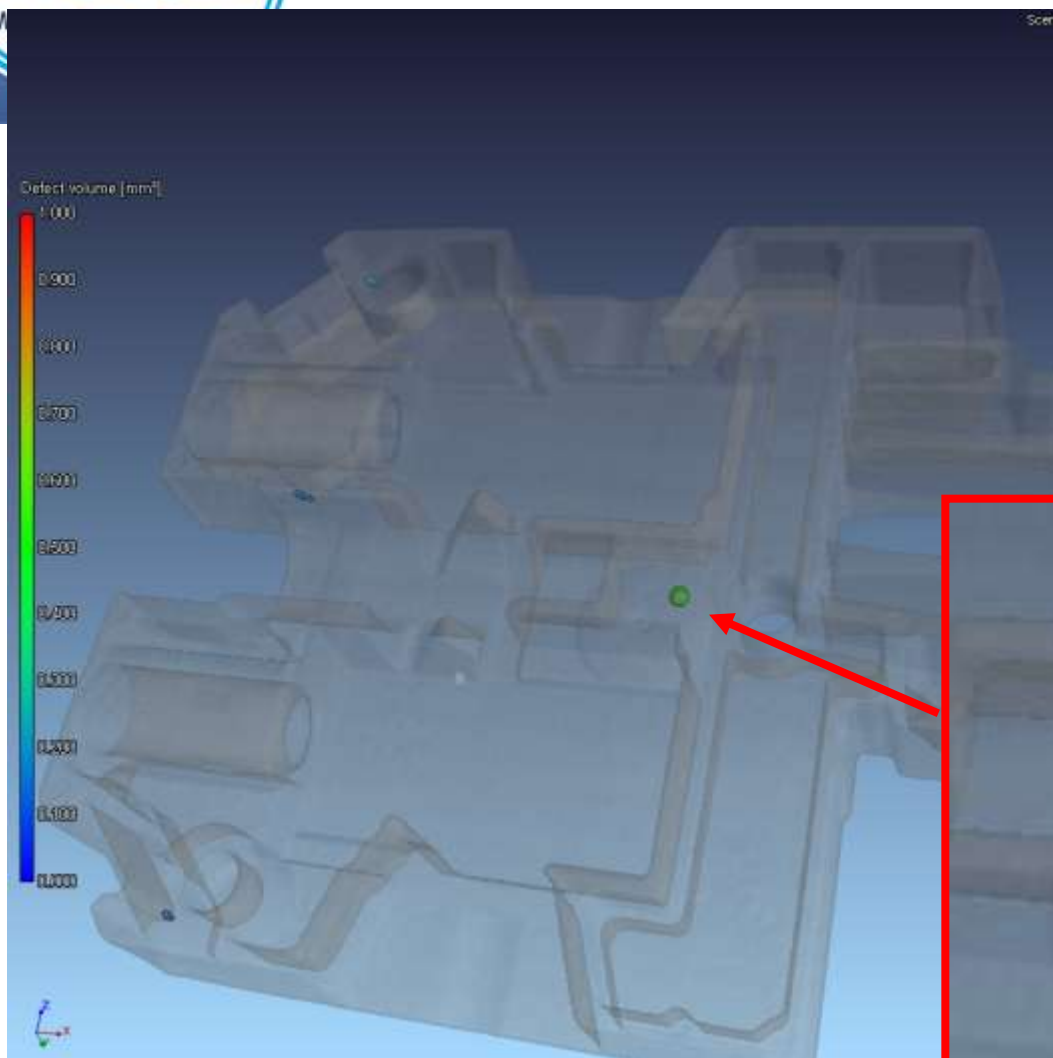
Vysoké rozlišení u malých dílců



- Obsah a orientace skleněných vláken



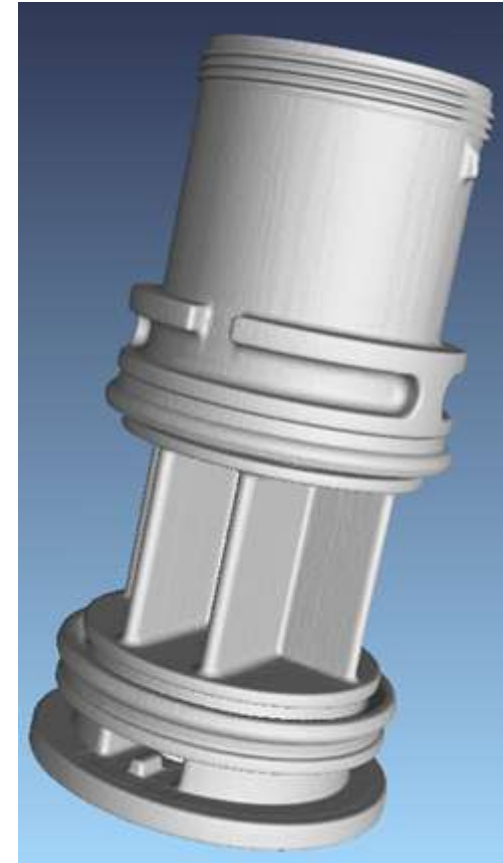
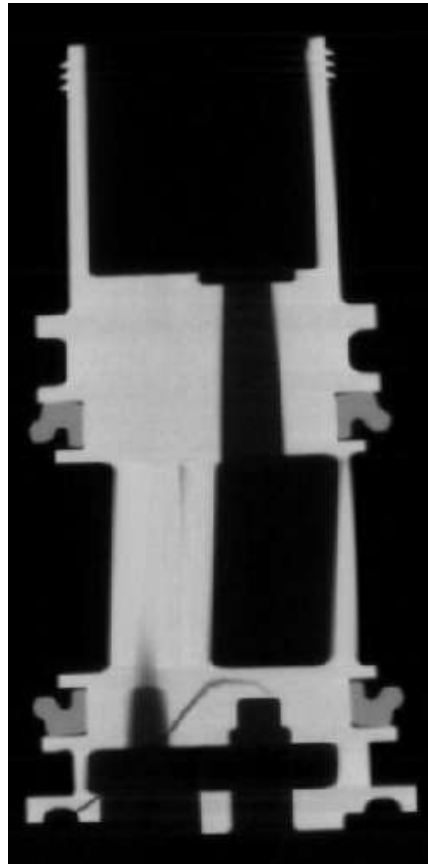
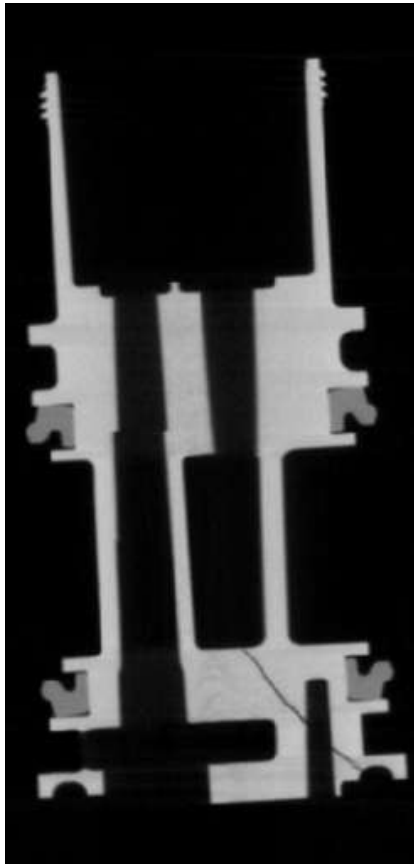
Automatická detekce dutin



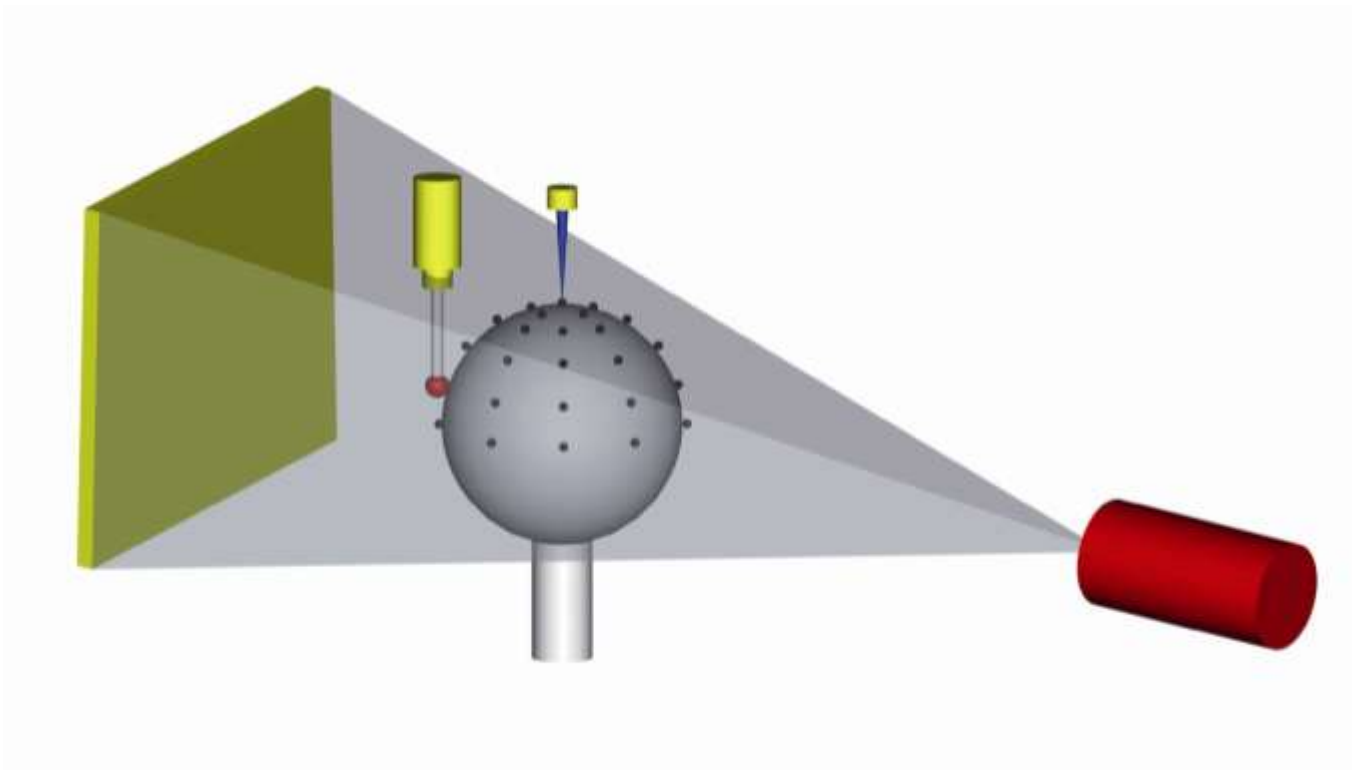
- Automatická detekce a lokalizace



Detekce prasklin



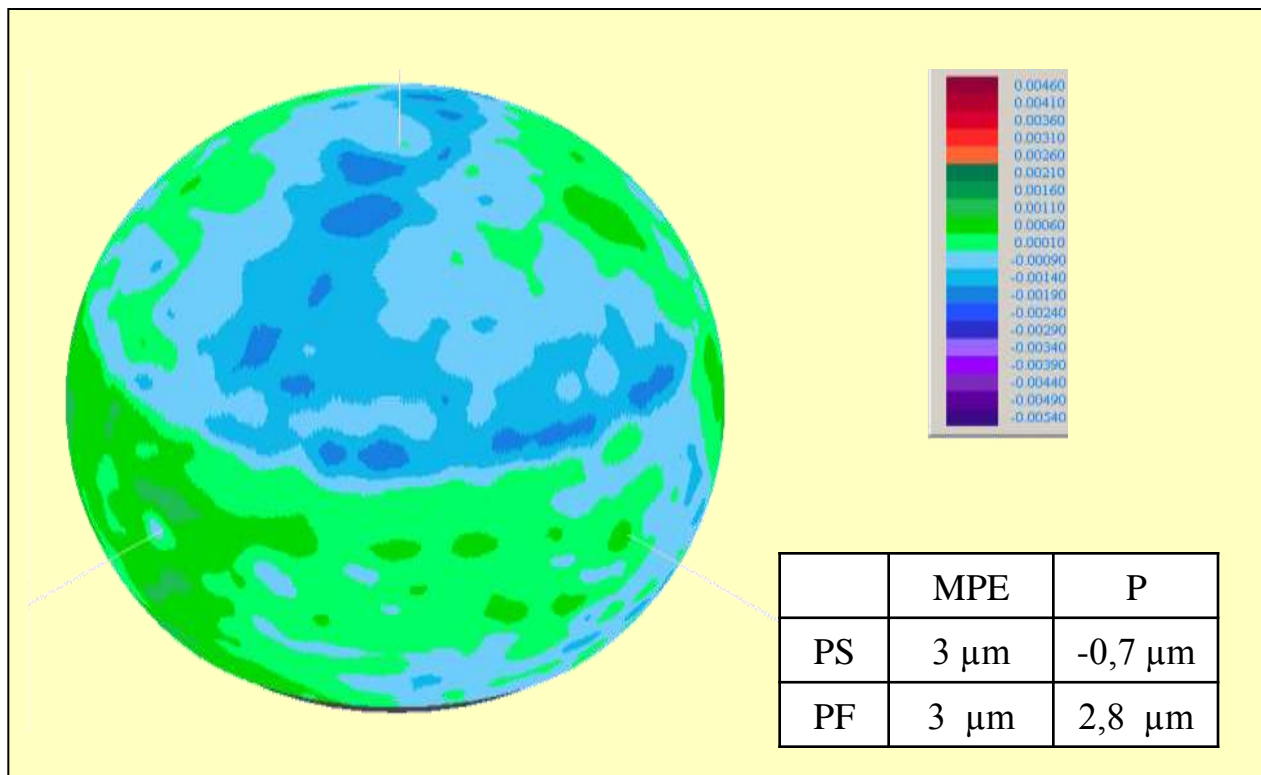
Určení multisenzorové chyby snímání měřením kalibrační koule s rozdílnými snímači.



Počítačová tomografie Werth

Specifikace a přijímací test

Určení chyby snímání (P) tomografických souřadnicových měřicích strojů měřením kalibrační koule.
 Získané numerické hodnoty jsou na základě 25 snímaných bodů v souladu s ISO.
 Analýza přibližně 20,000 měřených bodů je znázorněn v barevném grafu.





Traceable Specifications comparable to ISO 10360

Example: Verification of sphere distance deviation

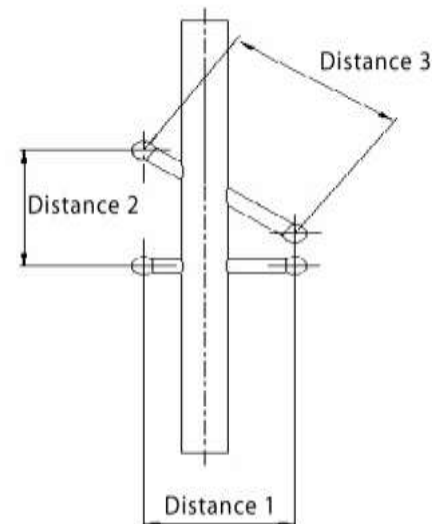
Werth Messtechnik GmbH

Inspector: Haubner
 Standard: Ball bar
 Spike Filter: 9
 Correction: yes/LFP
 Sensor: MAG 2 HI
 Rotary Steps: 400

[mm]	MPE	Dist1	Dist2	Dist3
PS	0,0015	0,0004	-0,0014	0,0002

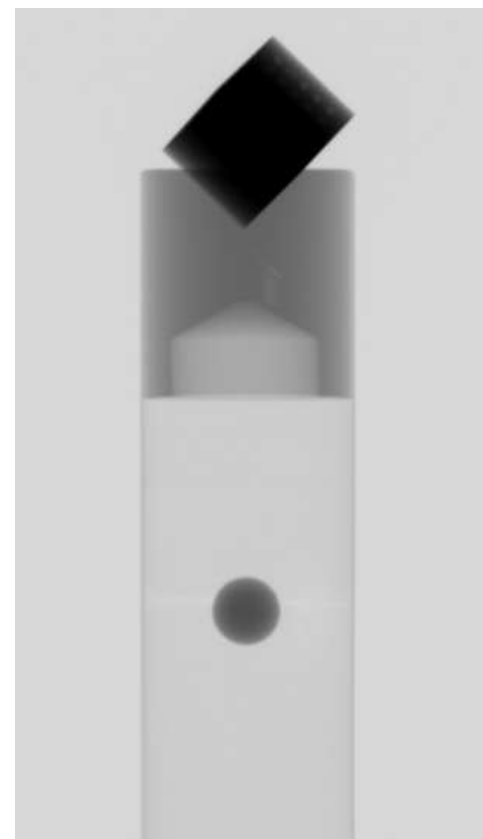
TomoCheck 06-00352

Sollwert Distanz 1	16,0733 mm
Sollwert Distanz 2	16,2278 mm
Sollwert Distanz 3	19,7128 mm



SMĚRNICE

CT krychle se sférickými povrchy



Určování chyby délkového měření MPE E:

- a) Pomocí více kulového standardu při měření roztečí koulí
- b) Pomocí koule při měření průměru dvěma body ve směru hodnocení



$$E = (L_a - L_r) + (D_a - D_r)$$

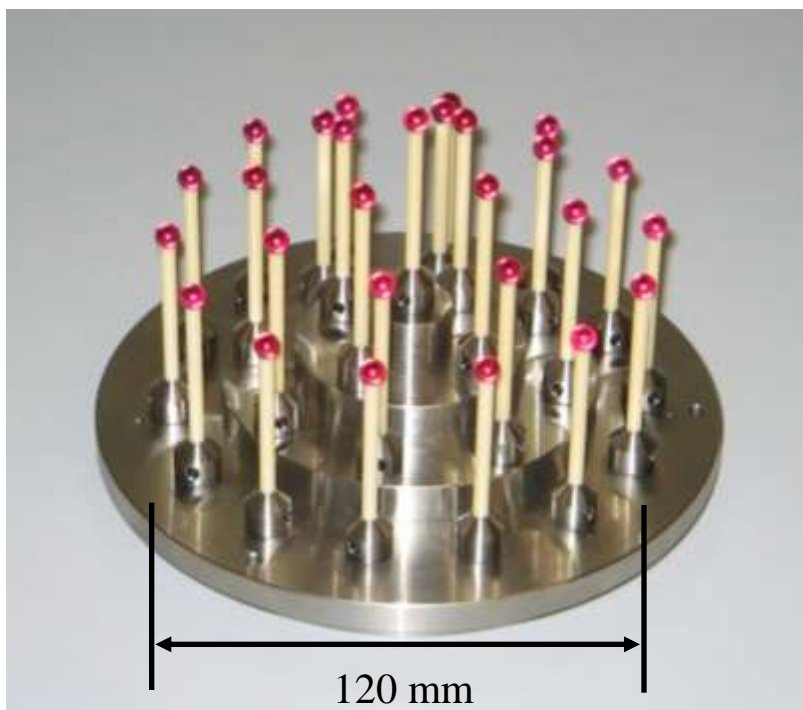
L_a = Měřená rozteč středu koulí

L_r = Kalibrovaná vzdálenost
středových bodů koule

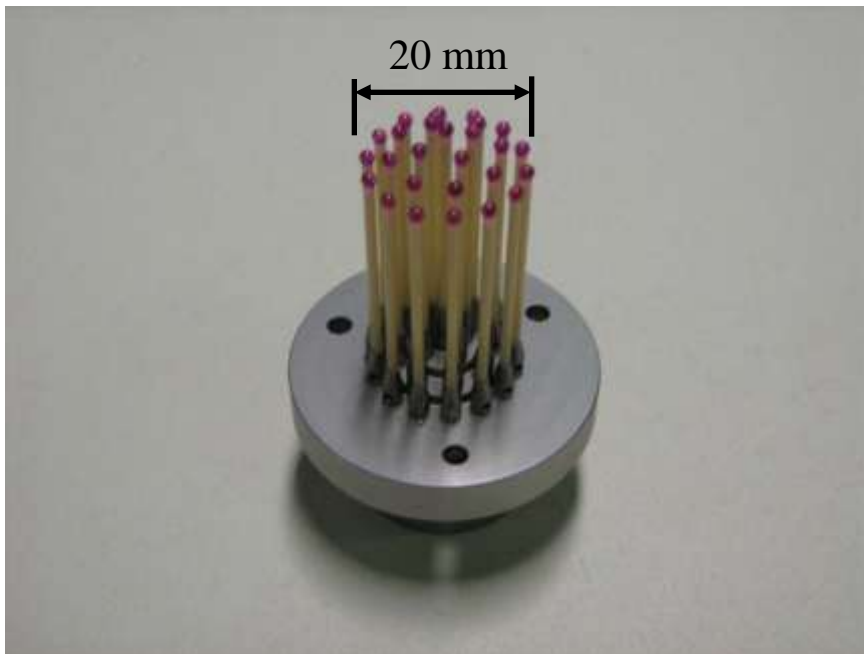
D_a = Měřený průměr koule

D_r = kalibrovaný průměr
koule

- Více kulový standard 120 → pro velká zorná pole

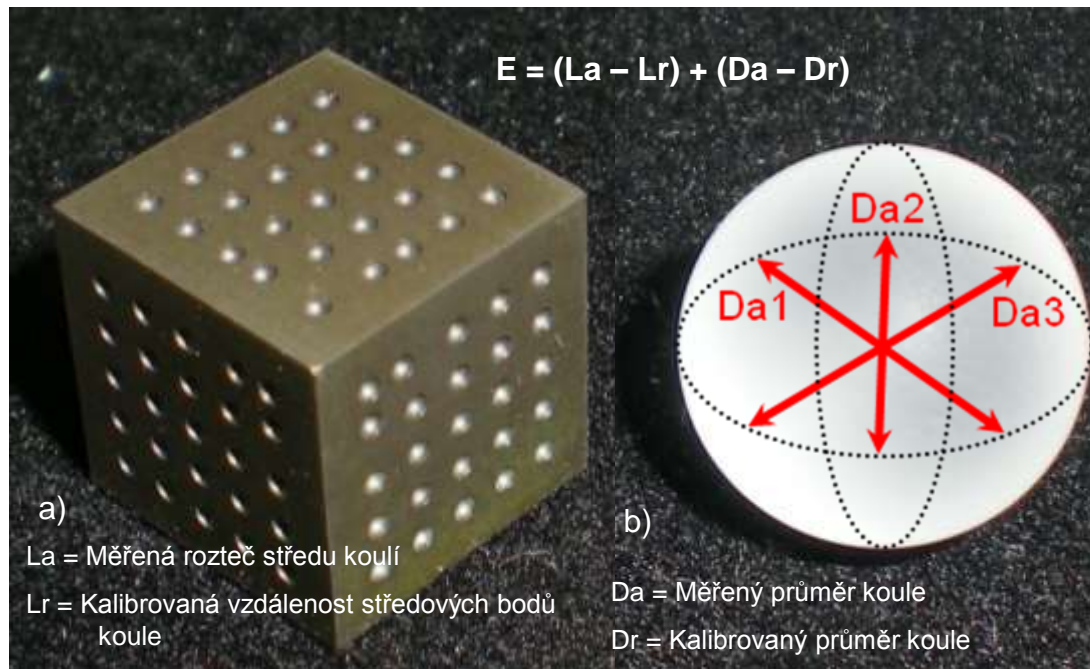


- Více kulový standard 20 → pro malá zorná pole



Určování délkové chyby měření:

- a) Užitím krychle se sférickými vrcholy k měření rozteče koulí,
- b) Užitím koule k měření průměru dvěma body



- Měření 5 vzdáleností v 7 směrech v prostoru a to 3x alespoň se 2 různými zvětšeními (→ 210 měření!)
- Nejmenší testované délka ≤ 30 mm, největší testovaná délka $\geq 66\%$ prostorové diagonály měřicího rozsahu
- 2 rozdílné možnosti pro měření E:

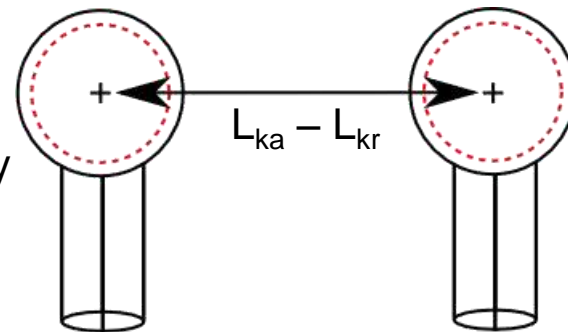
$$E = L_a - L_r$$

“Klasicky”: 2 samostatné měřicí body na kalibračním normálu



“Sférické těleso”: měření pozice středového bodu koule a další posouzení

- Odchylna snímání PS/PF $E = L_{ka} - L_{kr} + PS \pm PF$
nebo
- Obousměrné měření krátké vzdálenosti (koncové měrky nebo koule) ve směru měření rozteče koule



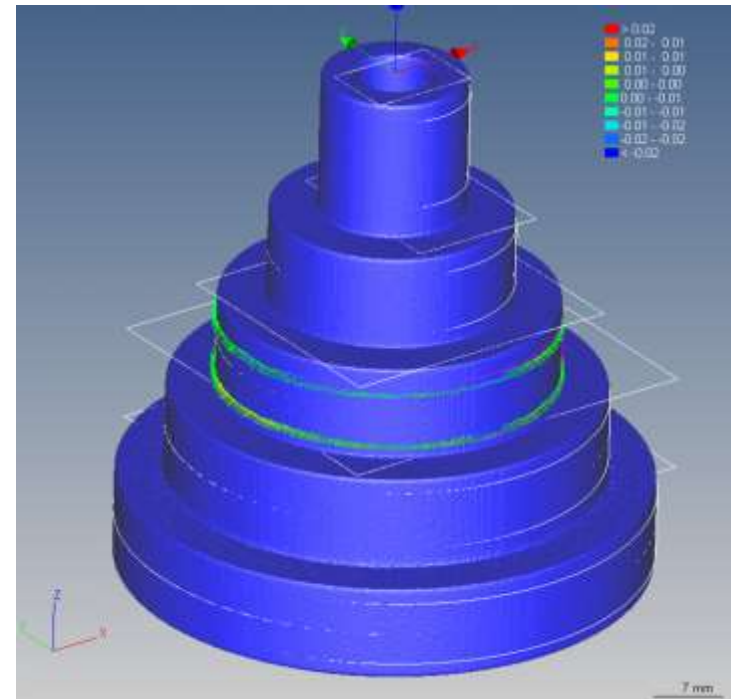
VT-A-11-01-0554_E

- Provizorně lze použít i alternativní dílec jako náhradu za měření kalibrovaných dílců:
 - Přibližné určení vlivu materiálu a geometrie
 - Lze měřit podobný materiál o stejné velikosti jako dílec
 - Odchylka polohy

GS: Odchylka měření vnitřního a vnějšího průměru D_a vůči přiřazenému kalibrovanému průměru D_r

GG: Přímost osy vnitřního otvoru

GF: Stanovení radiálních odchylek ke kompenzovanému materiálu





Korekce Artefaktů

- I. Numerická a Analytická Korekce Artefaktů

- II. Interaktivní Korekce Artefaktů



Numerická a Analytická Korekce Artefaktů

- Parametry jsou nastaveny pevně pro různé materiály a mohou být zvoleny uživatelem (např. charakteristický pro hliník, plast),
- Stanovení charakteristik by mělo být provedeno výrobcem



Korekce Artefaktů

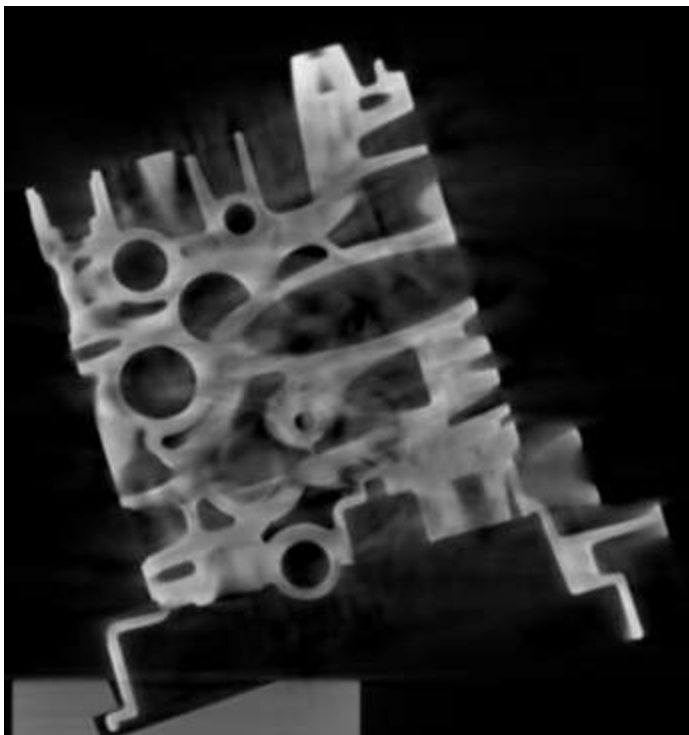
- I. Numerická a Analytická Korekce Artefaktů

- II. Interaktivní Korekce Artefaktů

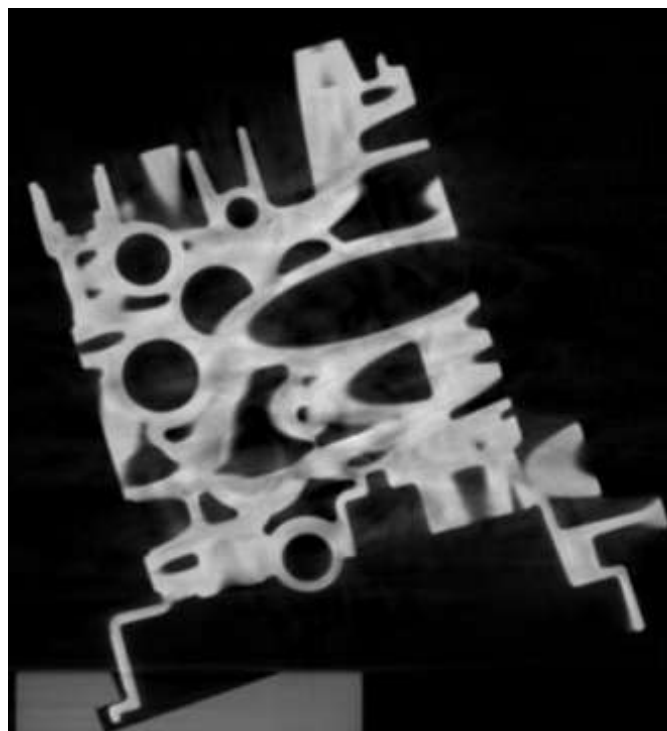
- První hrubá rekonstrukce
- Výpočet "všech" délek prozařování
- Výpočet charakteristik "všech" délek prozařování
- Korekce 2D snímků
- Obnovená, vylepšená rekonstrukce

Korekce Artefaktů

- Artefakty jsou redukovány nikoli odstraněny!

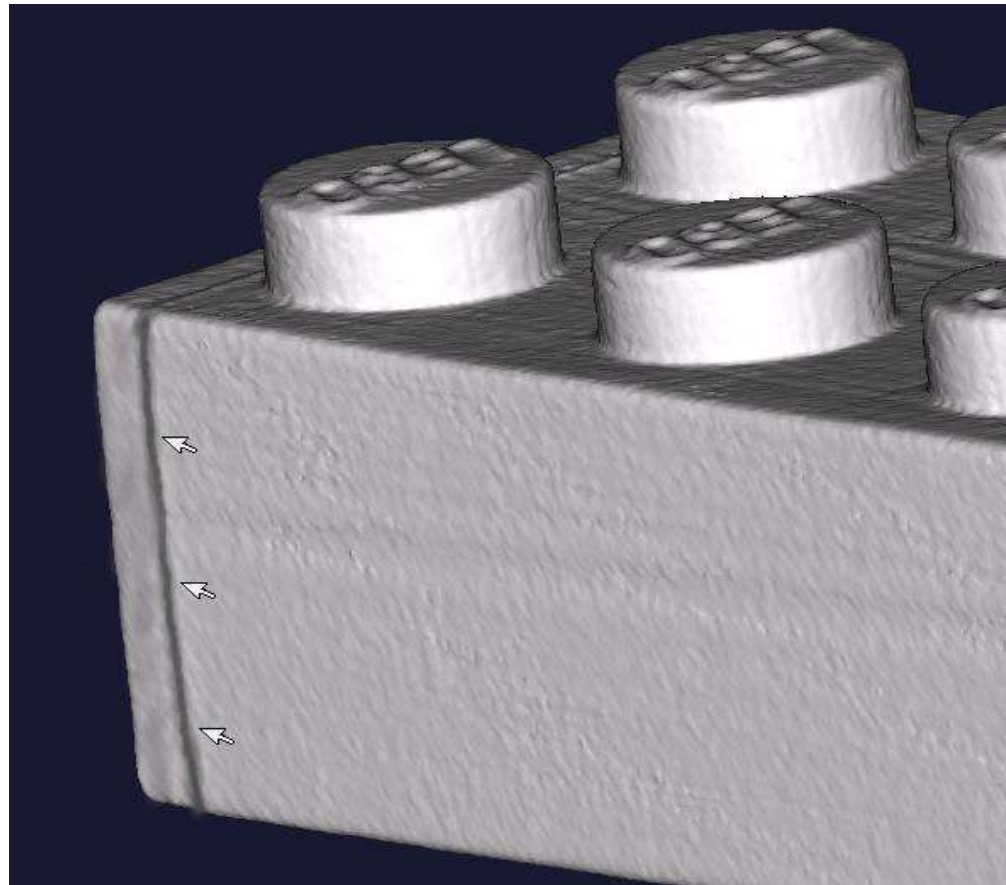


Without AR



With AR

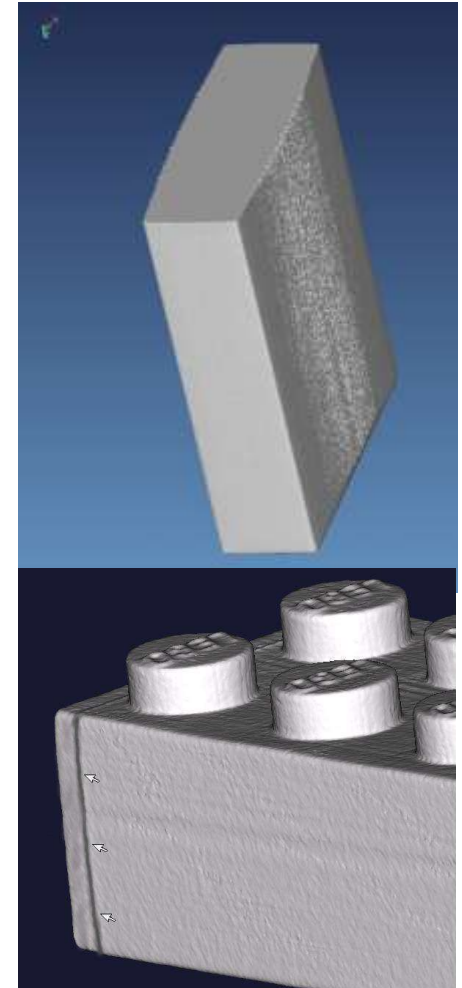
Geometrické artefakty



Systematické chyby měření jsou závislé na:

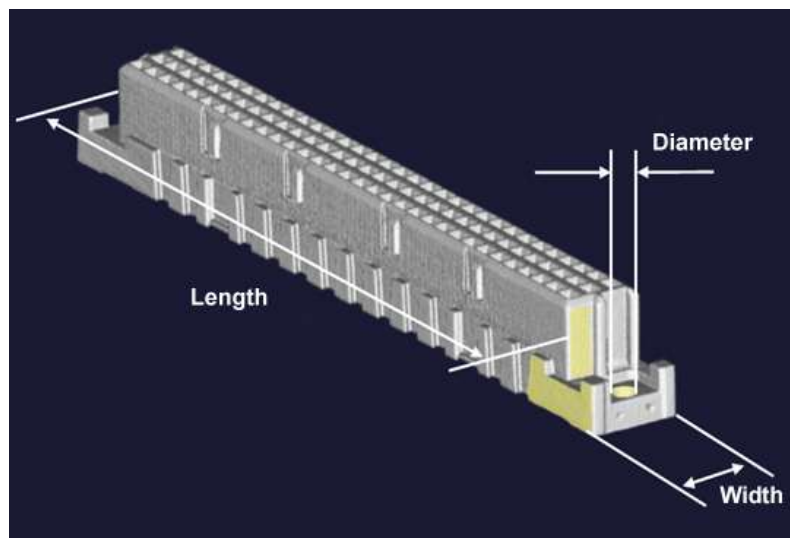
- CT- parametry(napětí, atd.)
- Geometrie objektu
- Materiál objektu

→ Sledovat prvků nelze zjistit pomocí měření standardů s typickými geometriemi (koule, koncové měrky atd.)



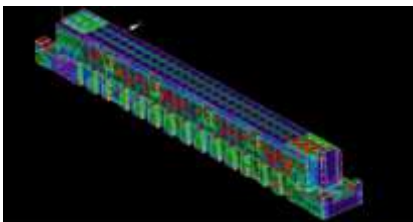
Werth Korekce (Patent v řízení)

	Nominální	Aktuální senzorem TP200	Aktuální senzorem CT	Aktuální CT – korigovaná	Odchylka CT	Odchylka CT – korigovaná
Délka	82.800	82.696	82.687	82.694	-0.009	-0.002
Průměr	2.850	2.912	2.920	2.914	0.008	0.002
Šířka	10.500	10.454	10.459	10.456	0.005	0.001



Přesnosti v tomografii

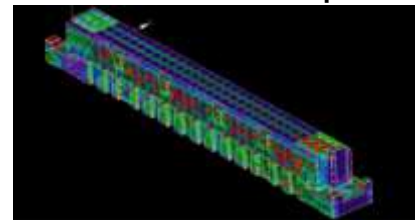
Ostatní



1. Tomografie pro kontrolní účely

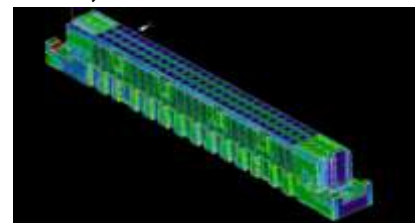
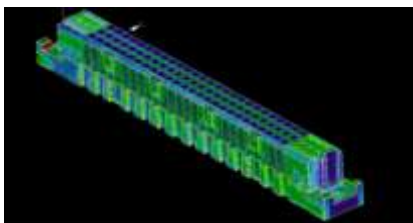
cca. 50 μm

Werth TomoScope®



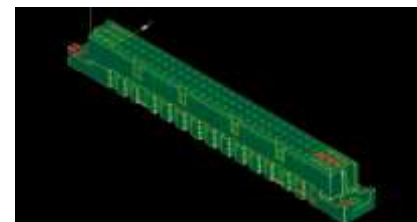
2. Tomografie pro měřicí úlohy – precizní mechanika, lokální limity a korekce artefaktů

cca. 10 – 20 μm



3. Zlepšení přesnosti pomocí Werth Auto-Korekce

cca. 1.5 – 4.5 μm





Měření ocelové vstřikovací trysky

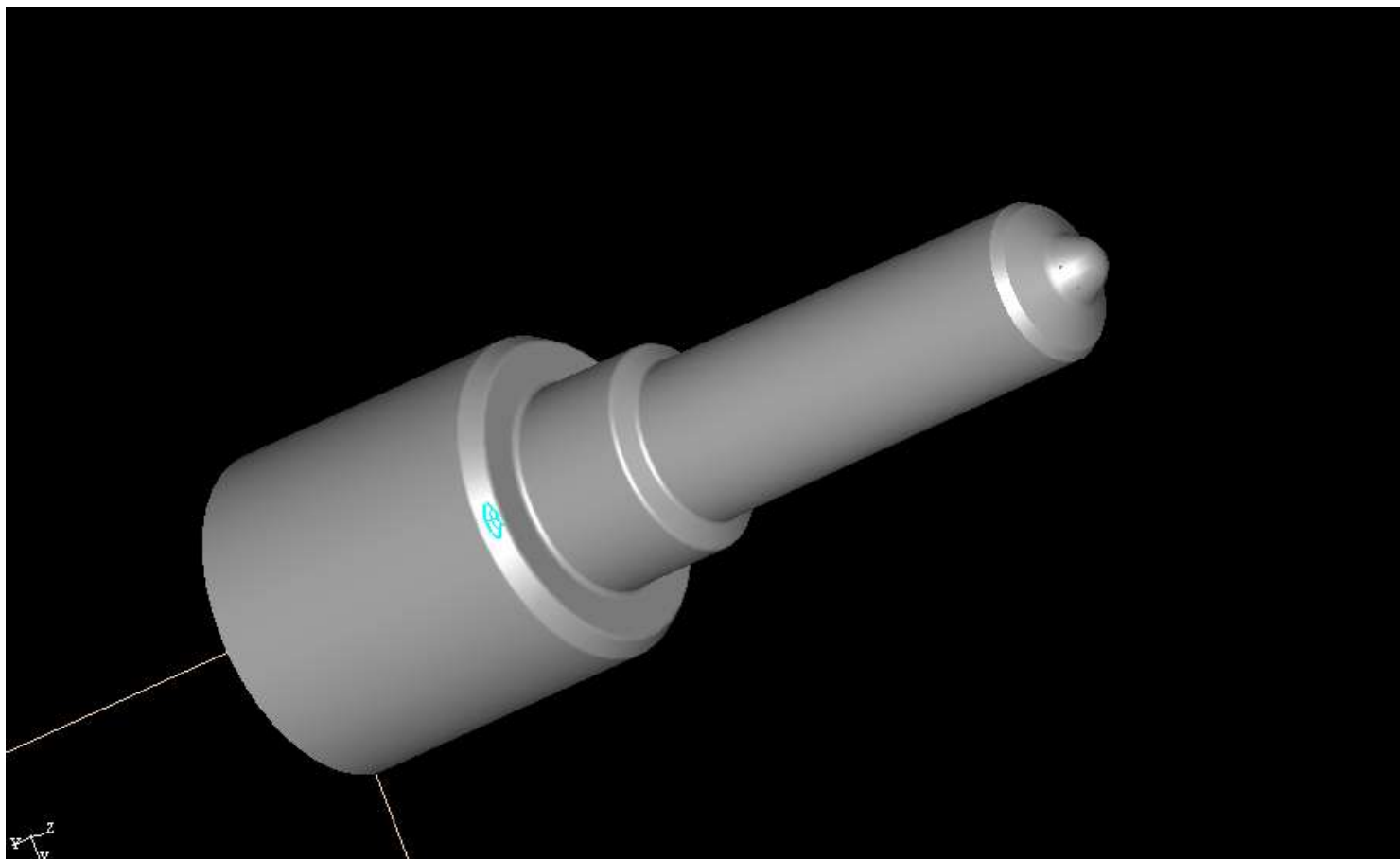


VT-A-7-2-0302_E



Měření ocelové vstřikovací trysky pomocí Werth TomoScope®

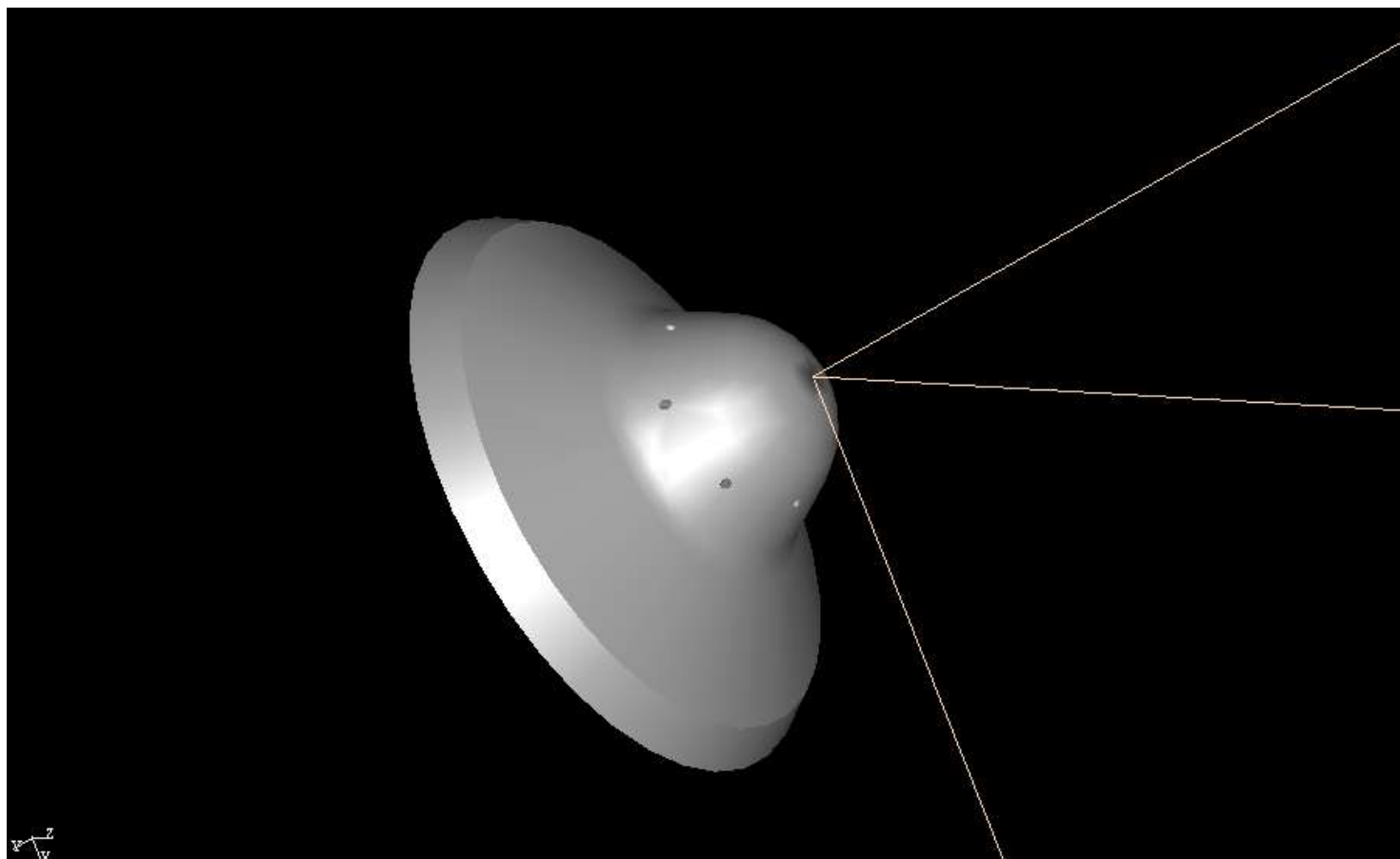
3D CAD Model



VT-A-7-2-0303_E

Měření ocelové vstřikovací trysky pomocí Werth TomoScope®

Řez CAD modelu

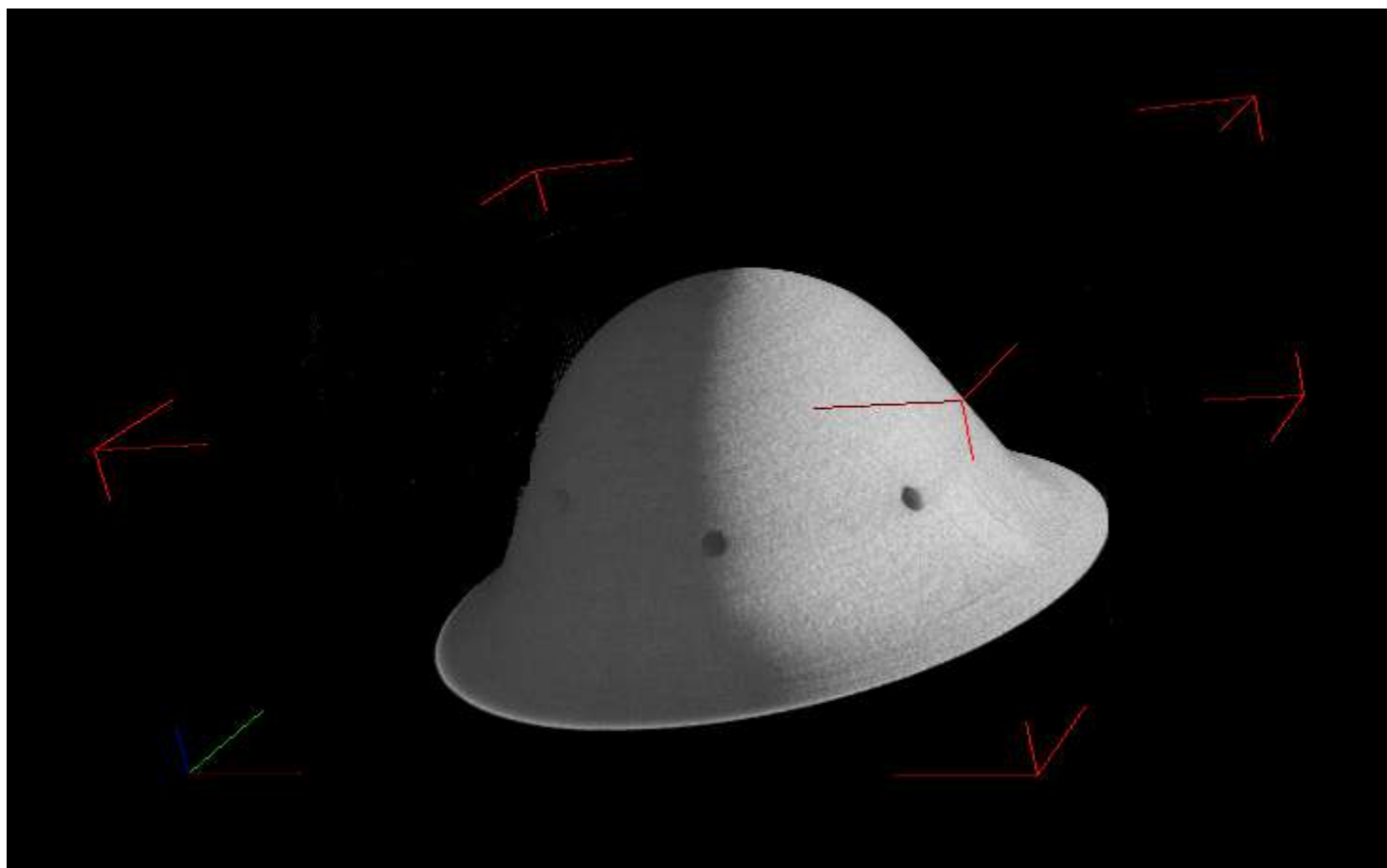


VT-A-7-2-0304_E



Měření ocelové vstříkovací trysky pomocí Werth TomoScope®

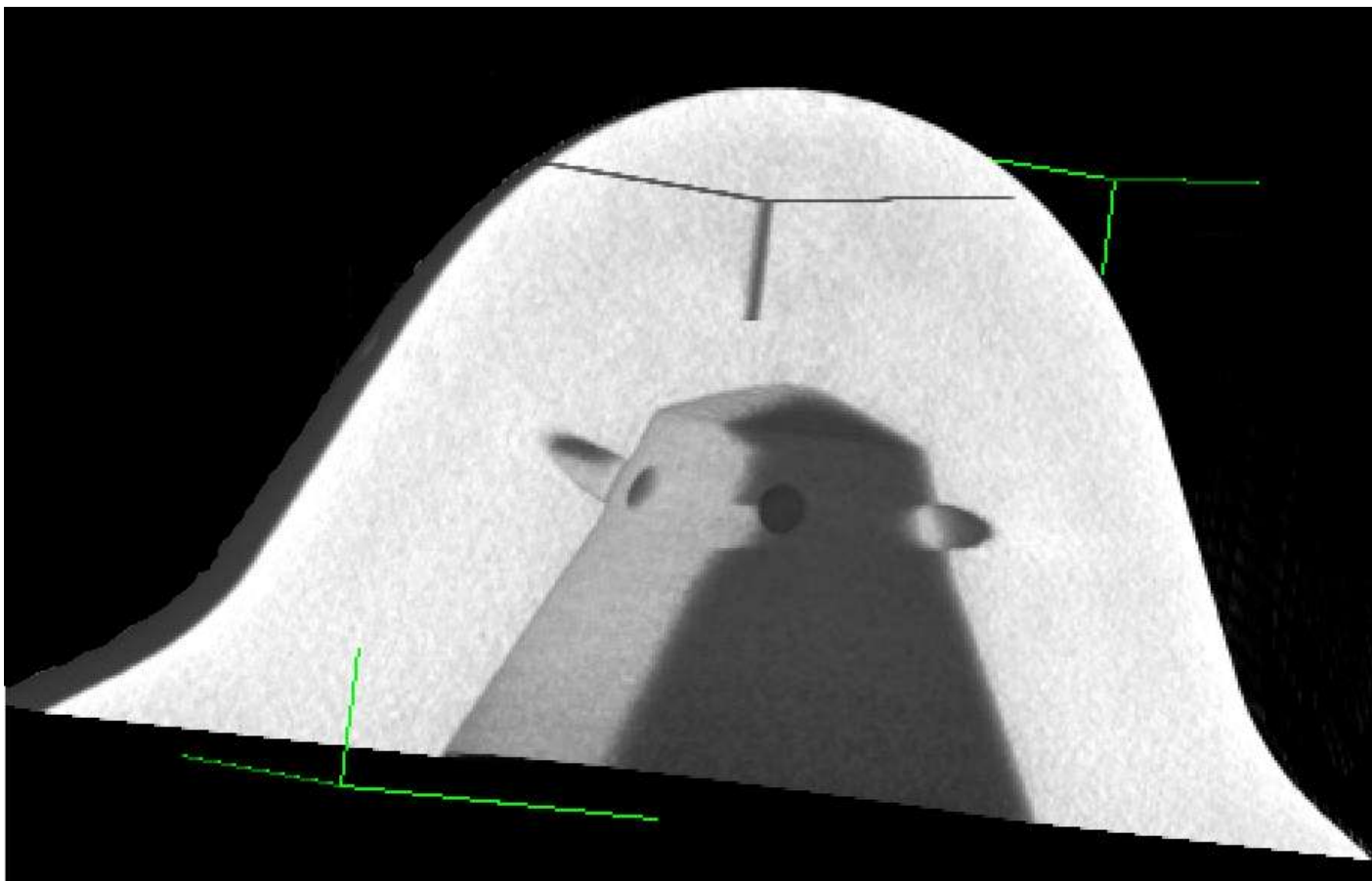
objemová grafika



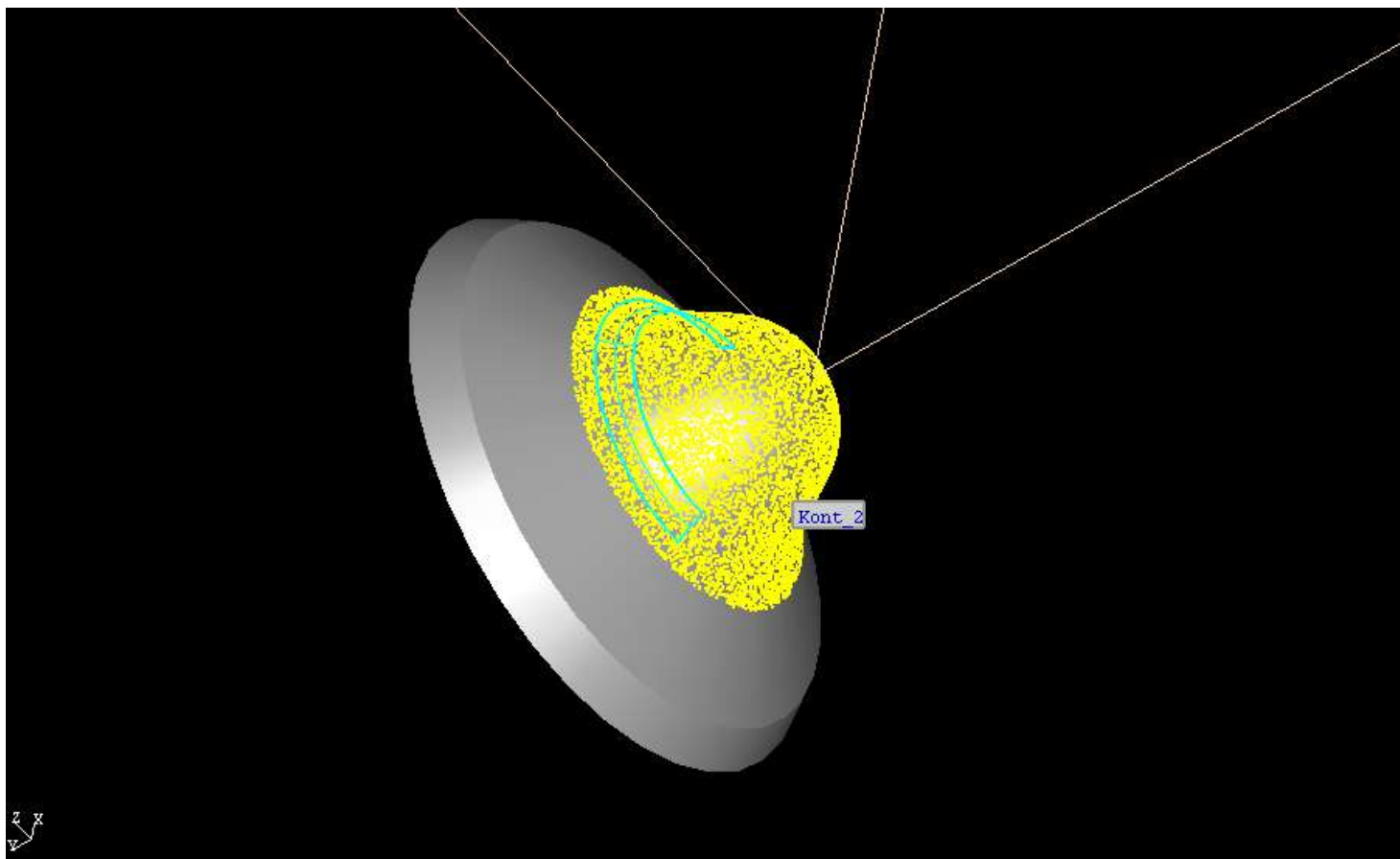
VT-A-7-2-0305_E

Měření ocelové vstřikovací trysky pomocí Werth TomoScope®

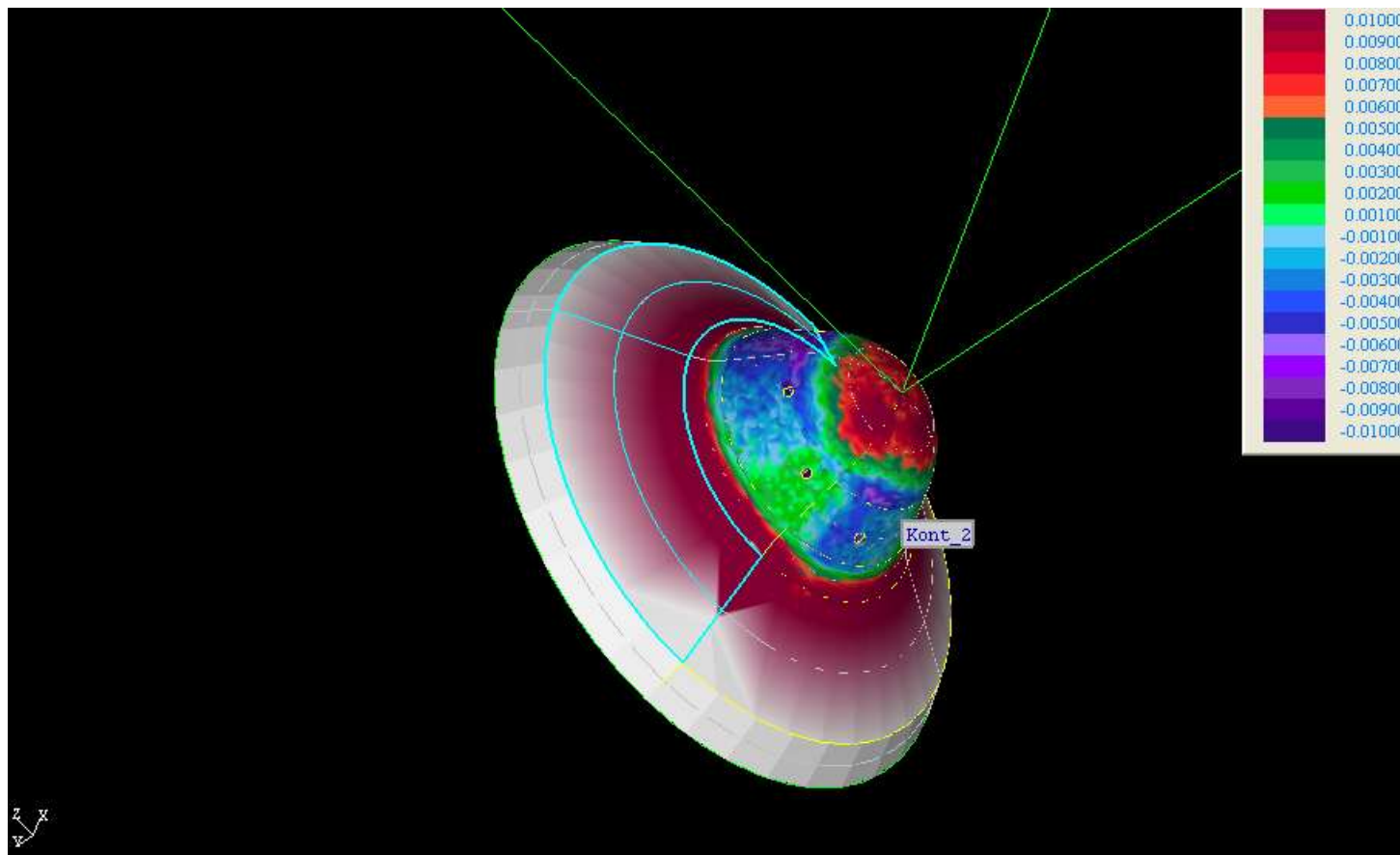
řez objemovou grafikou



kontura na 3D modelu



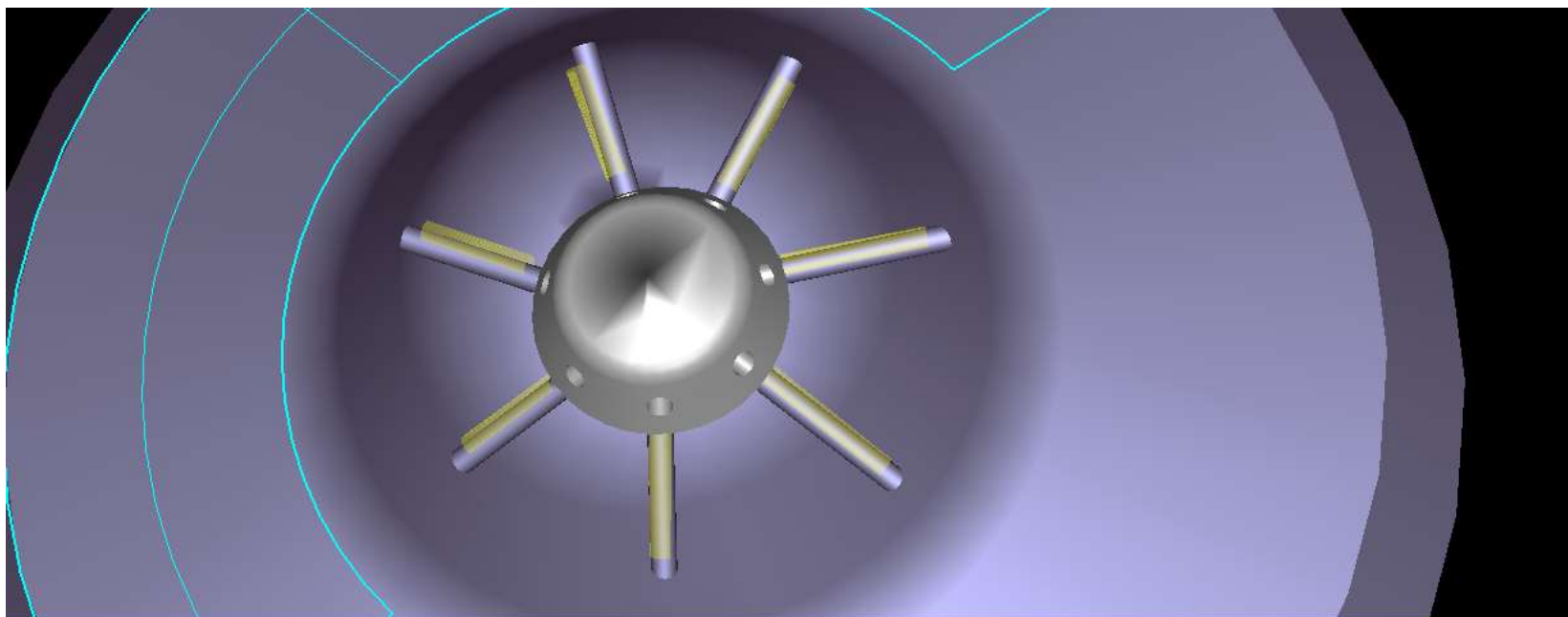
Napasovaná kontura na model s barevnou reprezentací odchylek





Měření ocelové vstřikovací trysky pomocí Werth TomoScope®

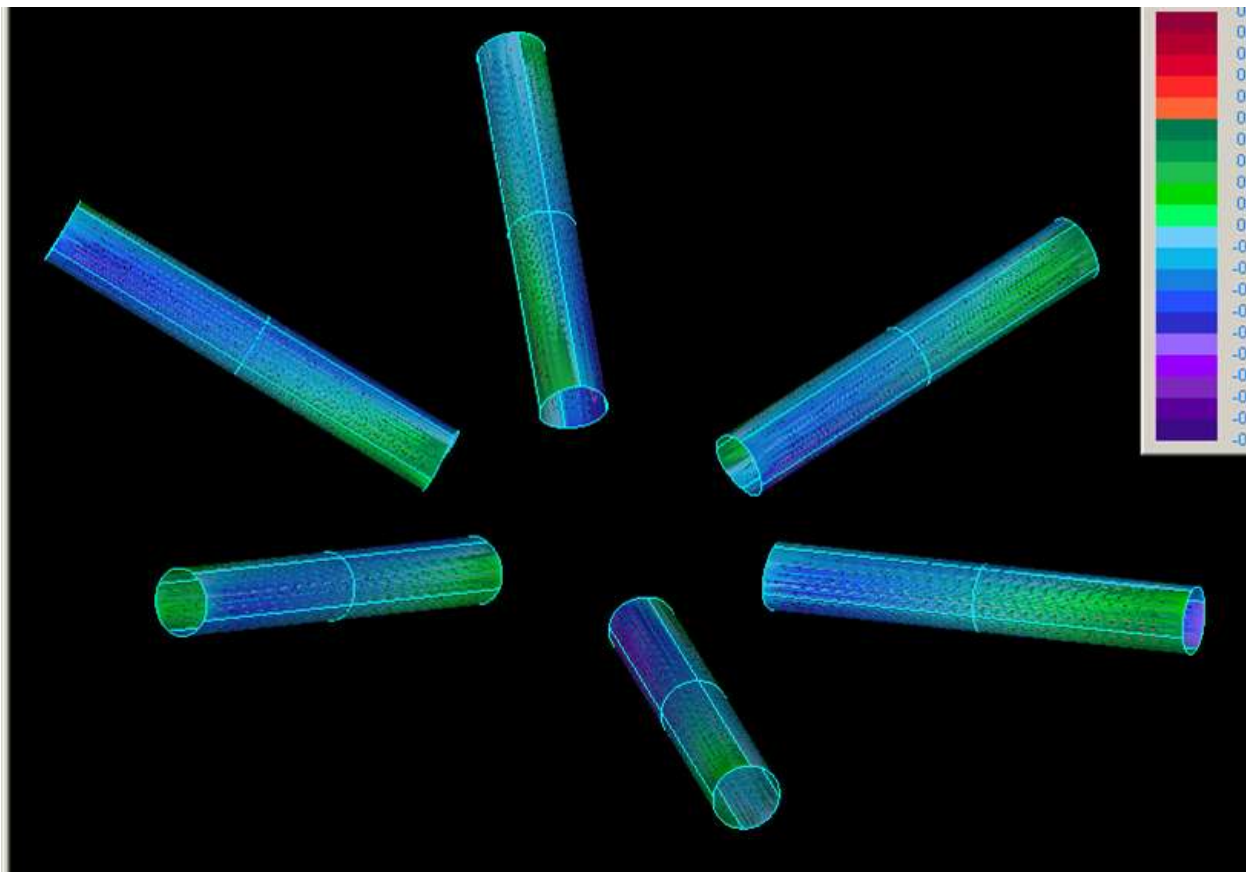
Měření válce z aktuální kontury



VT-A-7-2-0309_E

Měření ocelové vstřikovací trysky pomocí Werth TomoScope®

Barevné znázornění odchylek.



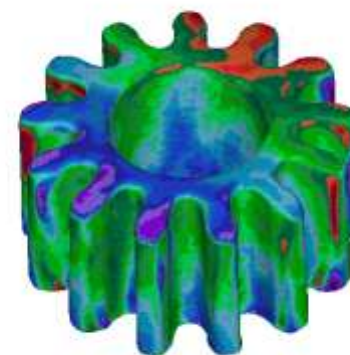
VT-A-8-11-0312_E



CAD model



Sít' bodů



Barevné znázornění odchylek

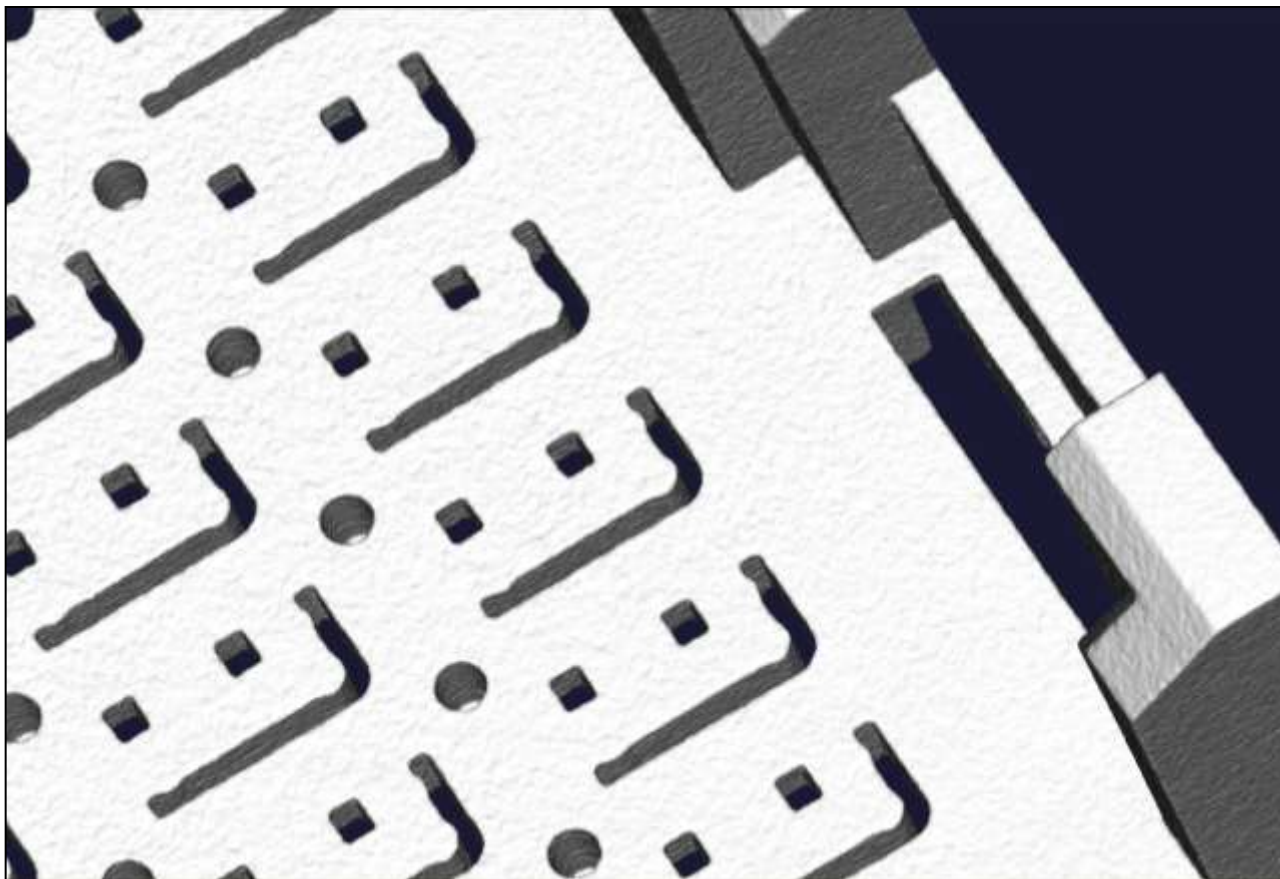


Rastrová Tomografie Werth

Měření malých prvků s vysokým rozlišením i na velkých komponentech

Tomografie konektoru s vysokým rozlišením tomografických snímků 2000 x 2000 pixelů

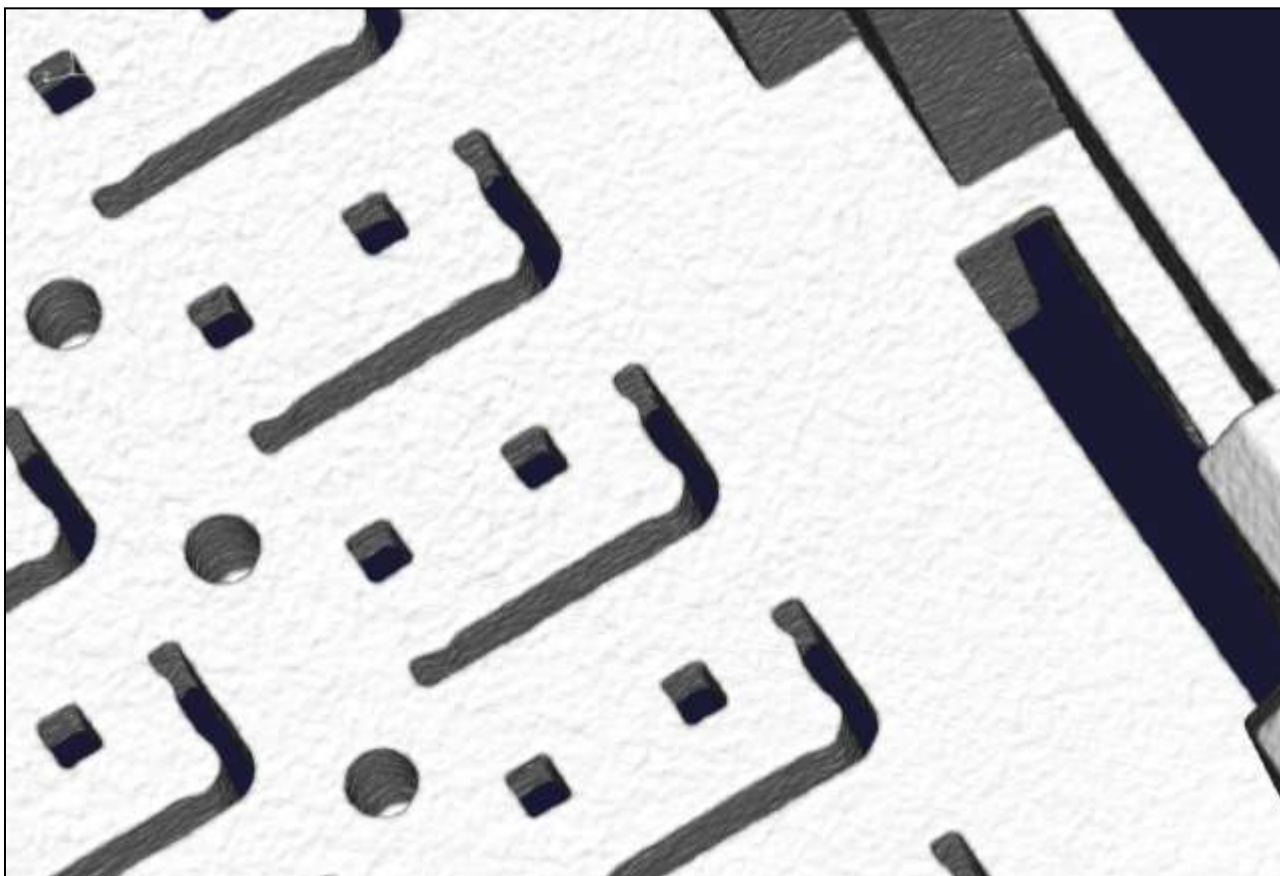
- sekce-



VT-A-7-11-0440_E

Tomografie konektoru s vysokým rozlišením tomografických snímků 2000 x 2000 pixelů

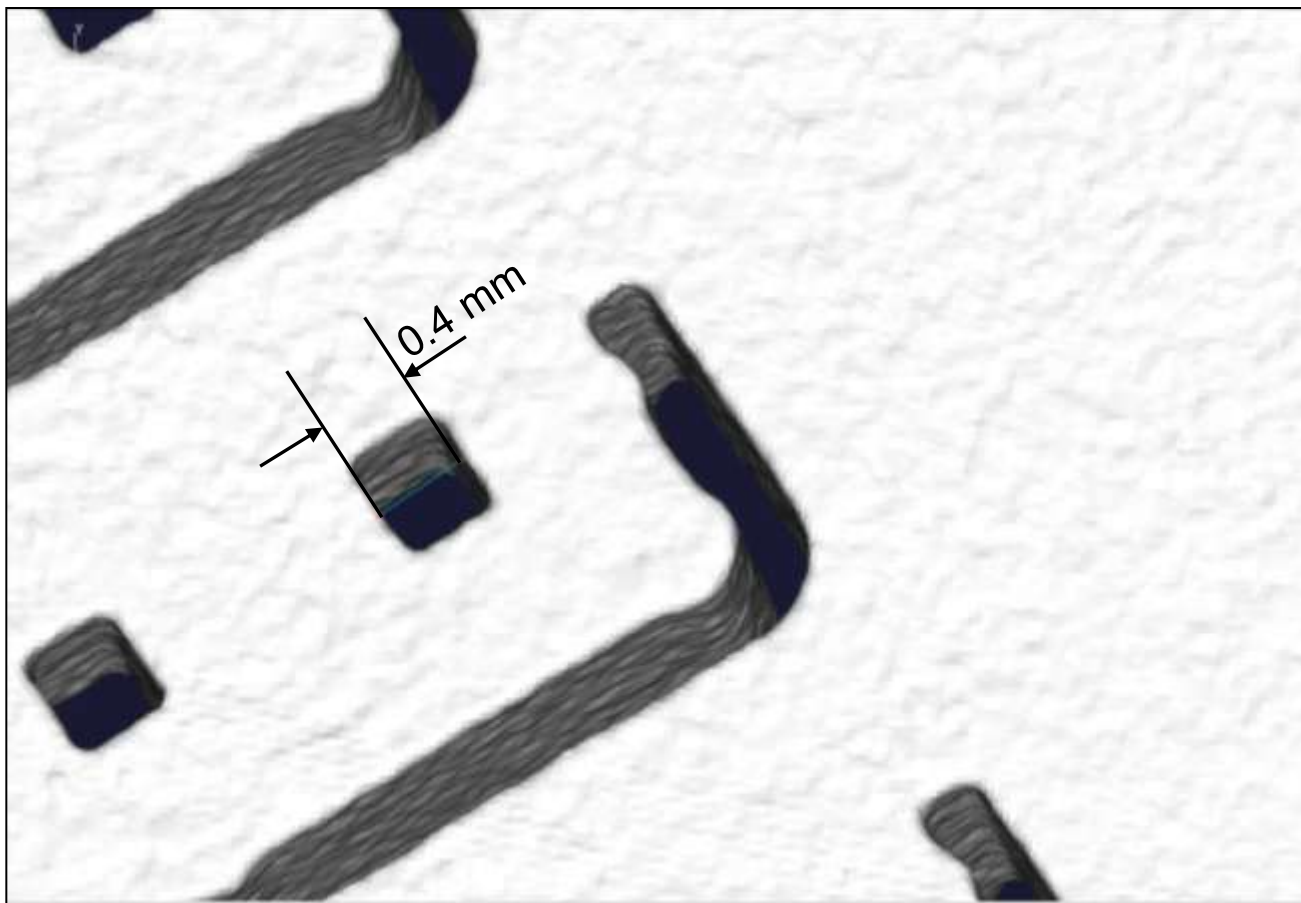
- Zoom 1 -



VT-A-7-11-0441_E

Tomografie konektoru s vysokým rozlišením tomografických snímků 2000 x 2000 pixelů

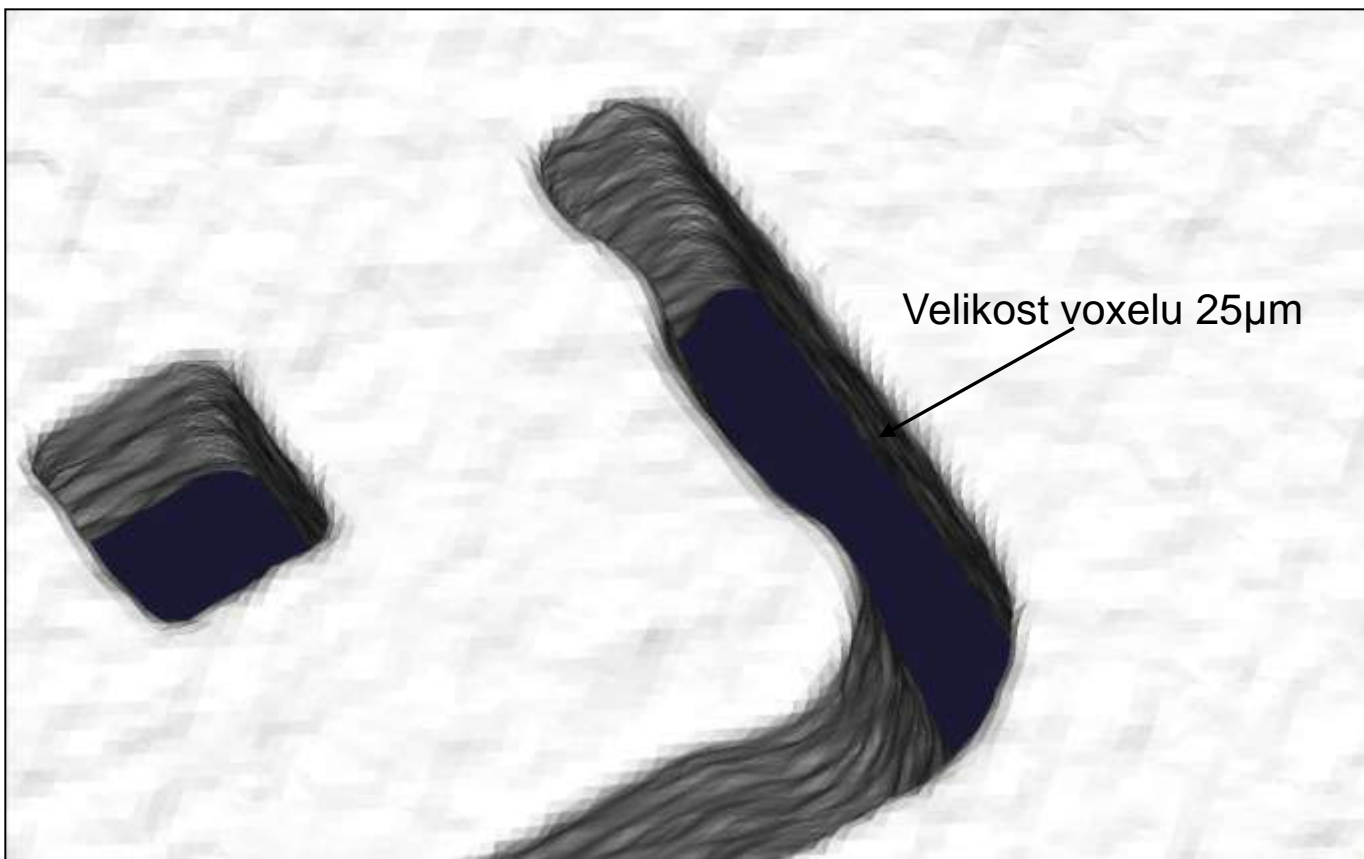
- Zoom 2 -



VT-A-7-11-0442_E

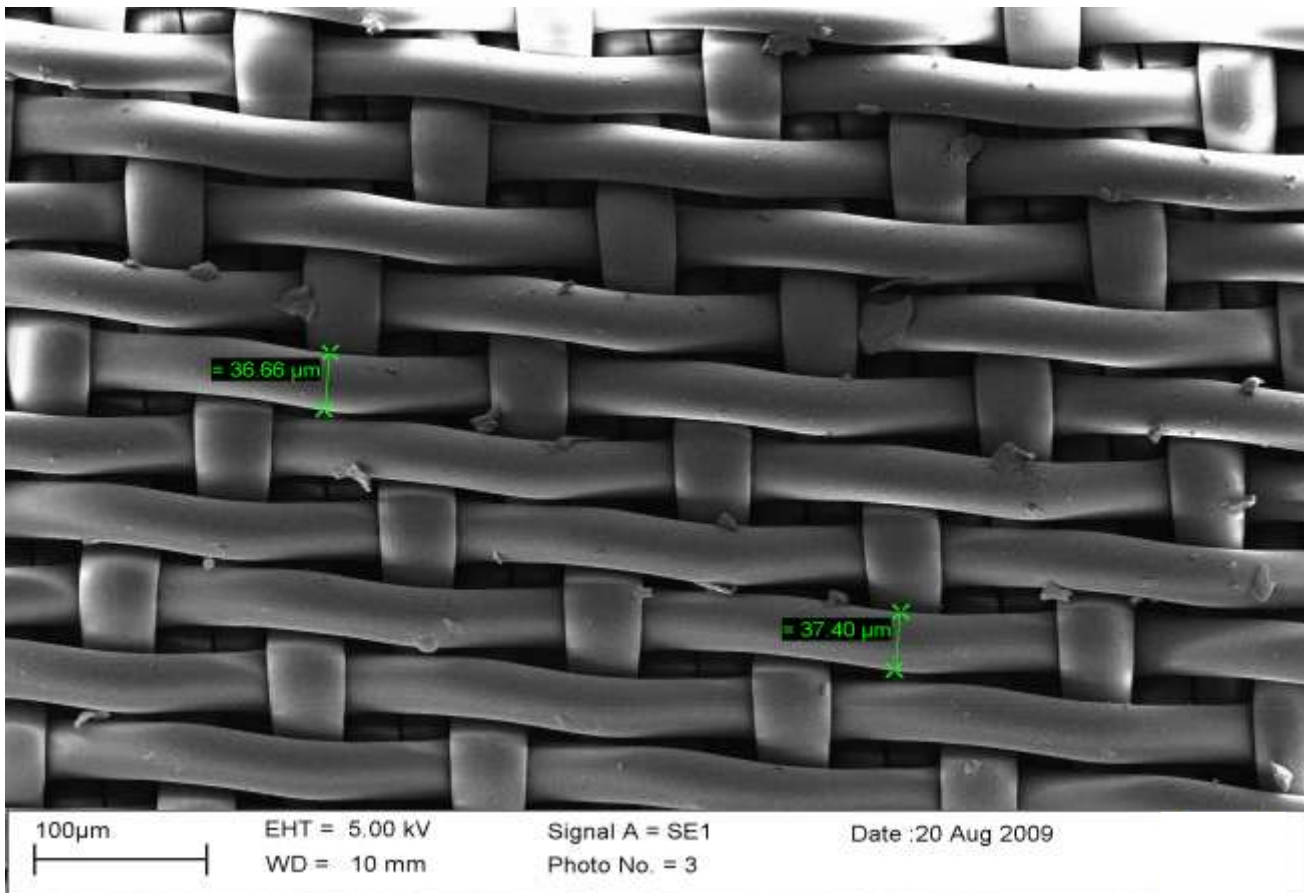
Tomografie konektoru s vysokým rozlišením tomografických snímků 2000 x 2000 pixelů

- Zoom 3 -



Werth Computed Tomography

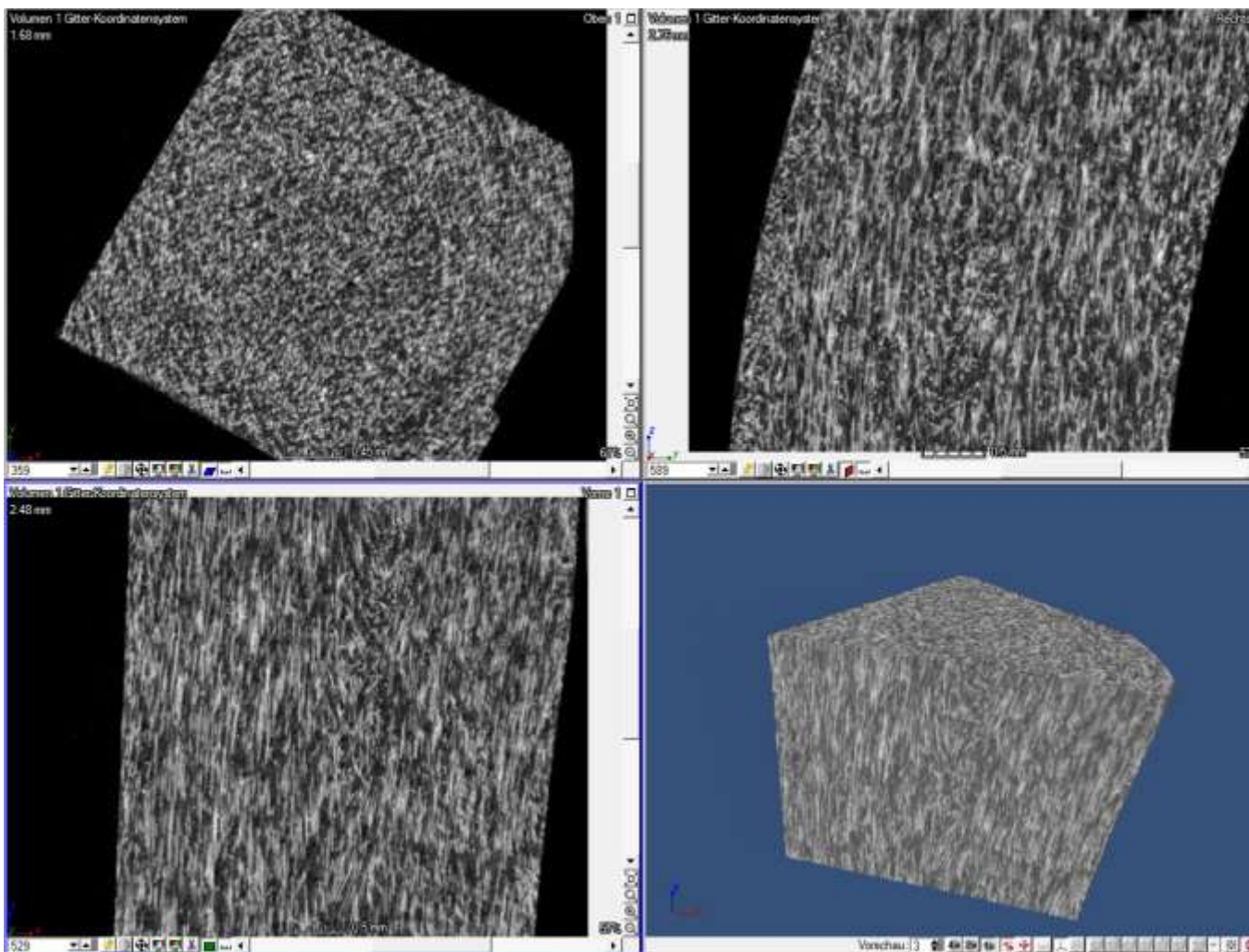
sít' uhlíkových vláken – REM snímek elektronového mikroskopu





Werth Computed Tomography

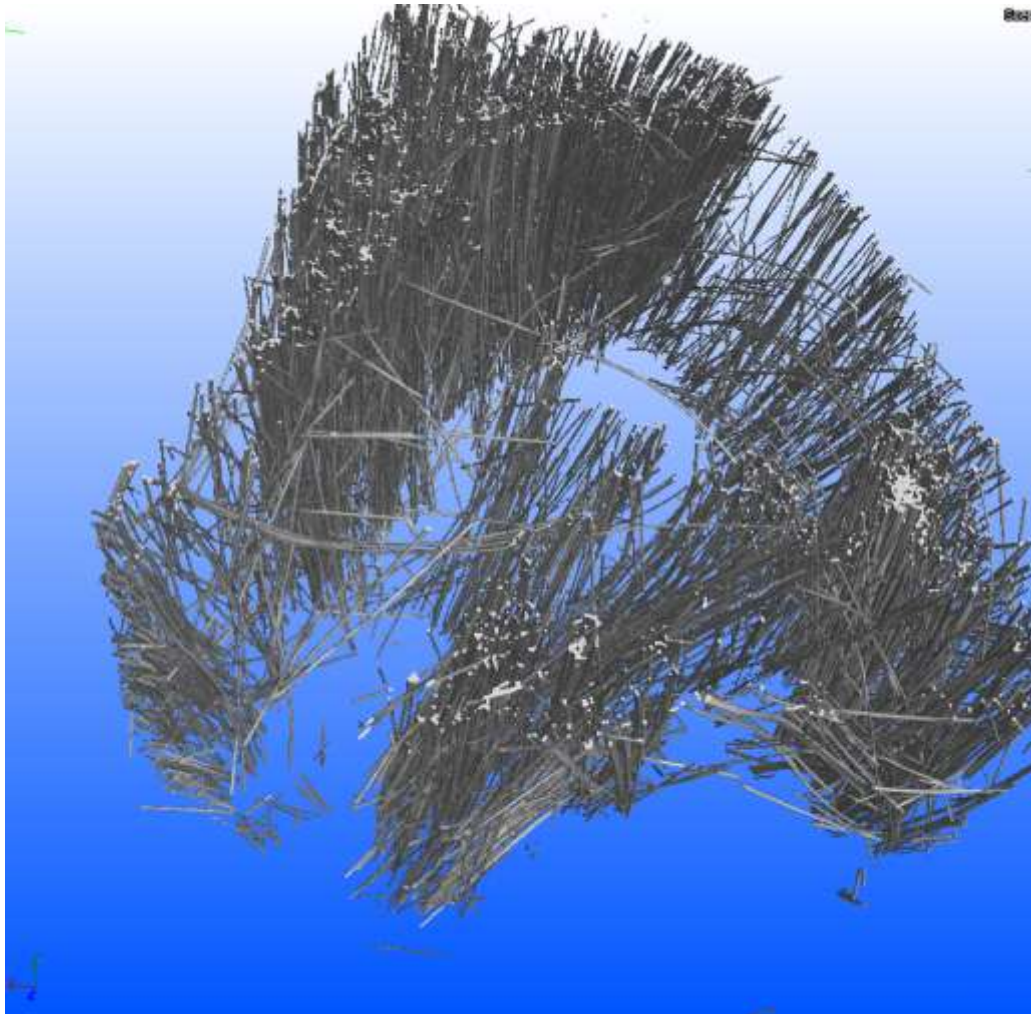
komponent vyztužený vlákny (30% vláken)



VT-A-11-09-0644_E

Počítačová Tomografie Werth

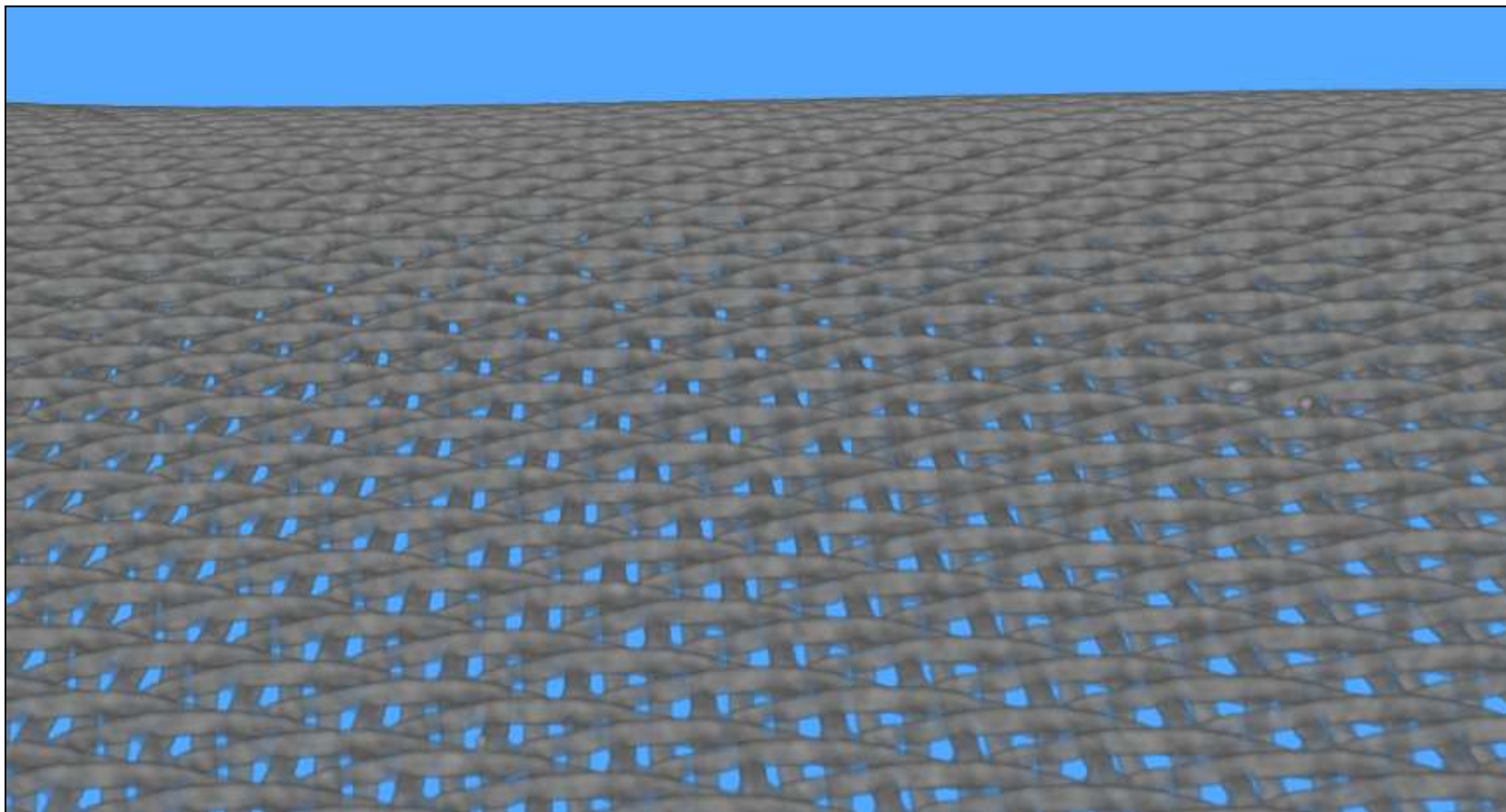
Uhlíková vlákna 8 μ m



VT-A-11-09-0645_E

Testy na síti 1

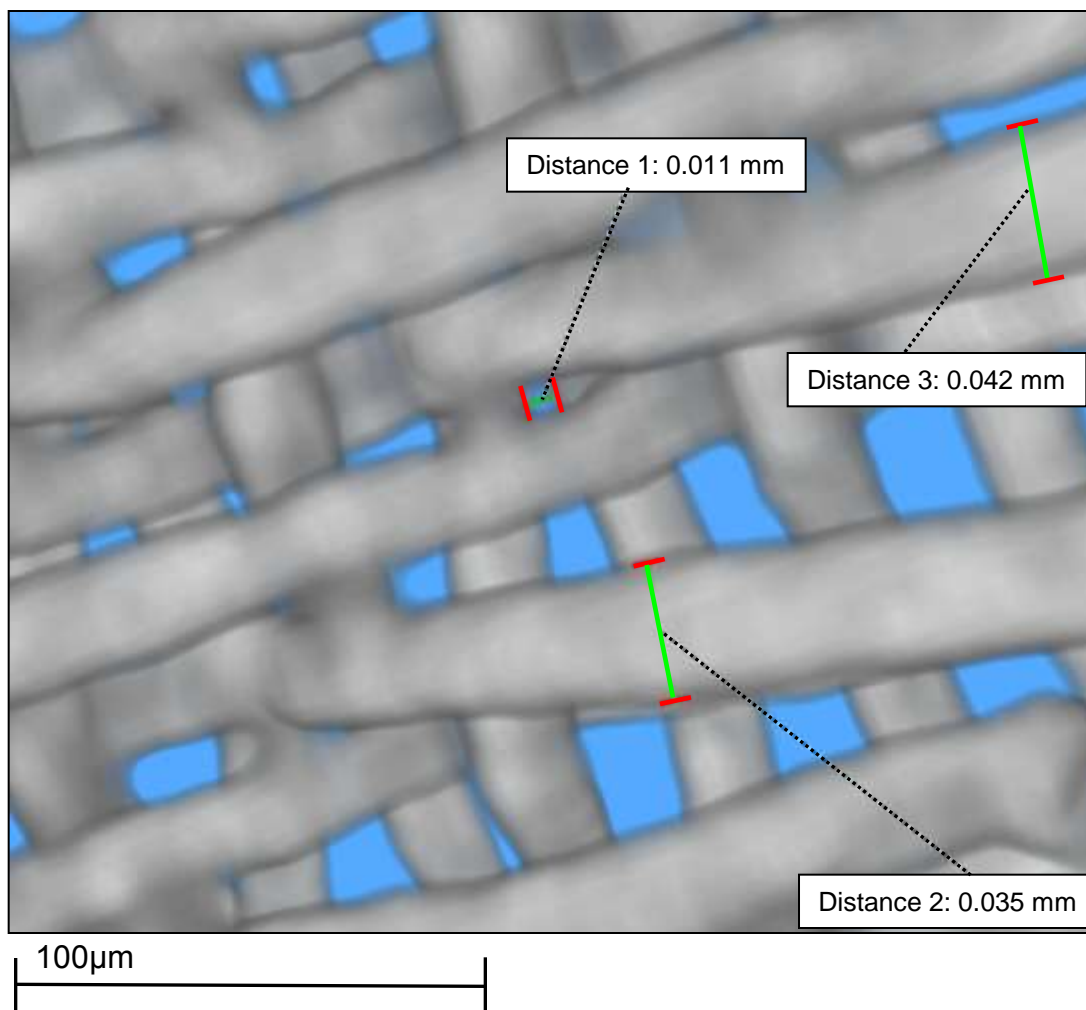
3D - výsledky



100µm

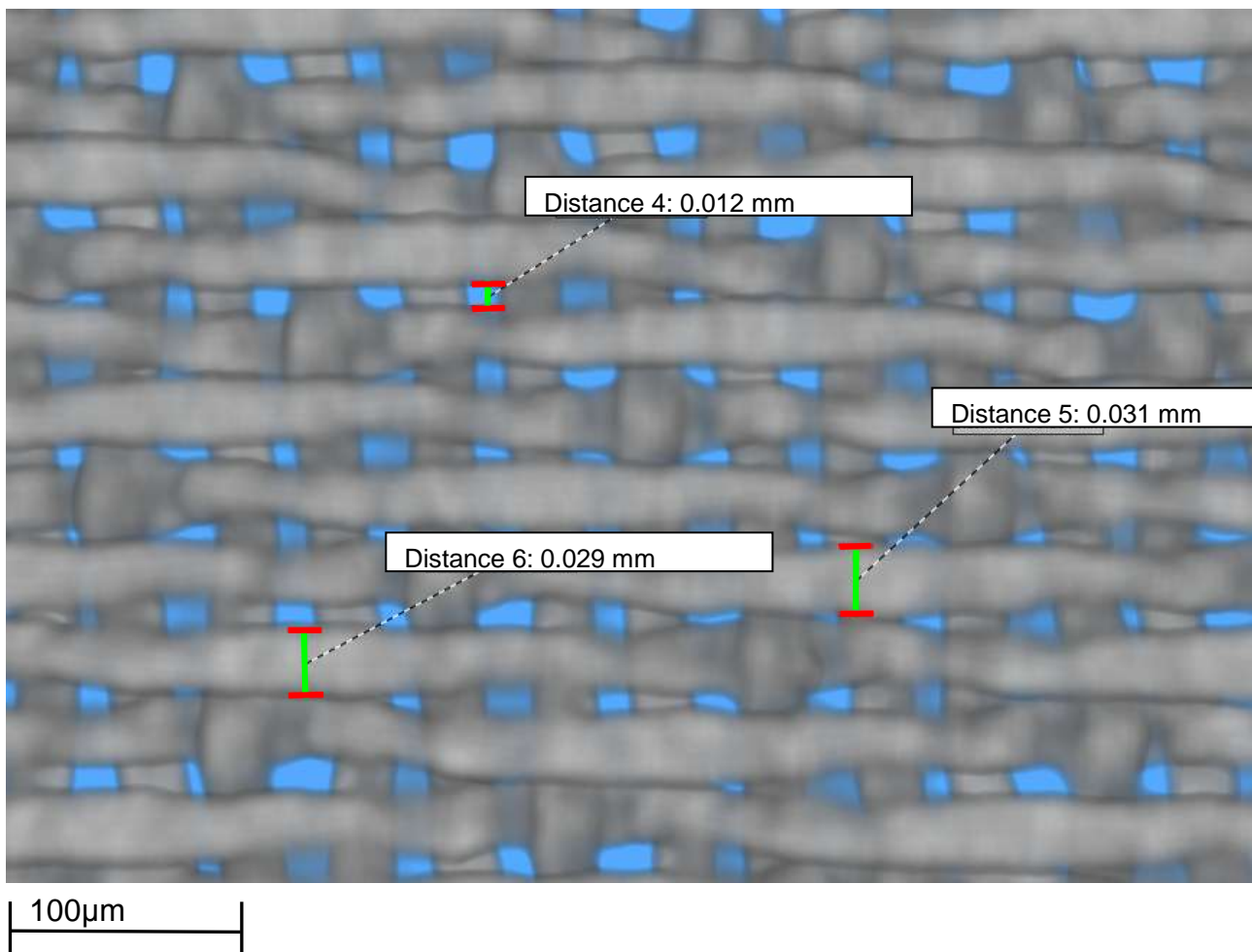
Testy na síti 1

3D - výsledky



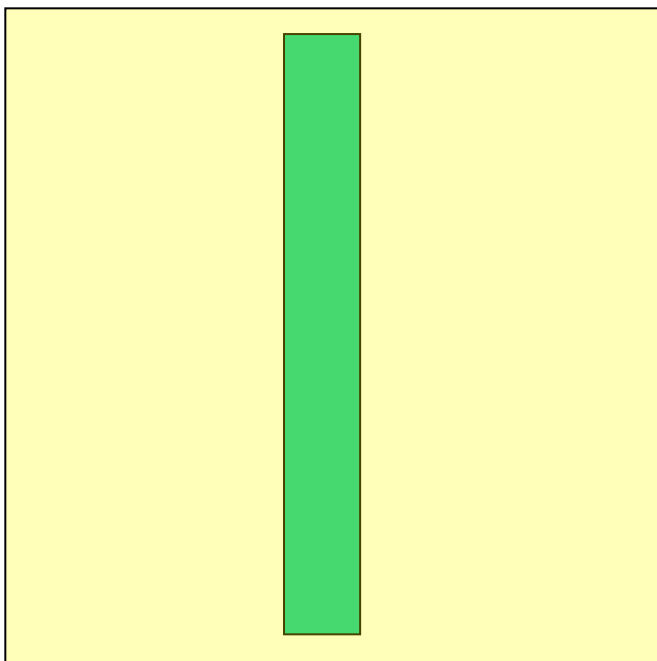
Počítačová Tomografie Werth

síť uhlíkových vláken – CT snímek



Výhody rastrové tomografie

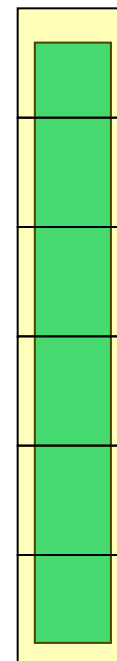
Simple Tomography



Nízké zvětšení:

- 800 Voxelů / 200 mm
- 1 Voxel => 250 μ m
- Nejmenší měřitelná struktura ca. 1..3 mm

Werth rastrová tomografie

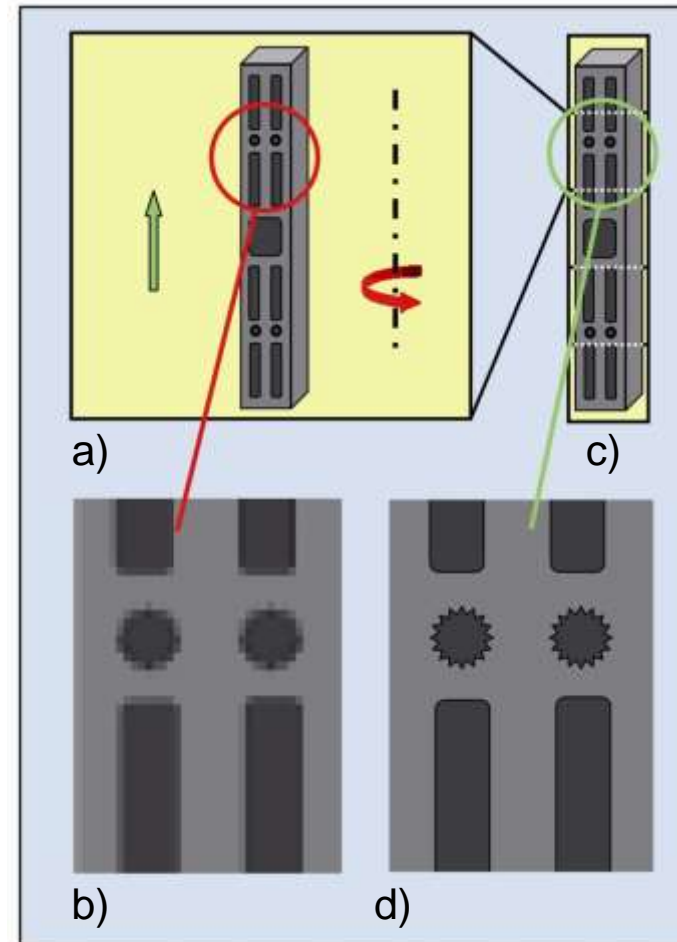


Rozlišení "dle požadavku" příklad:

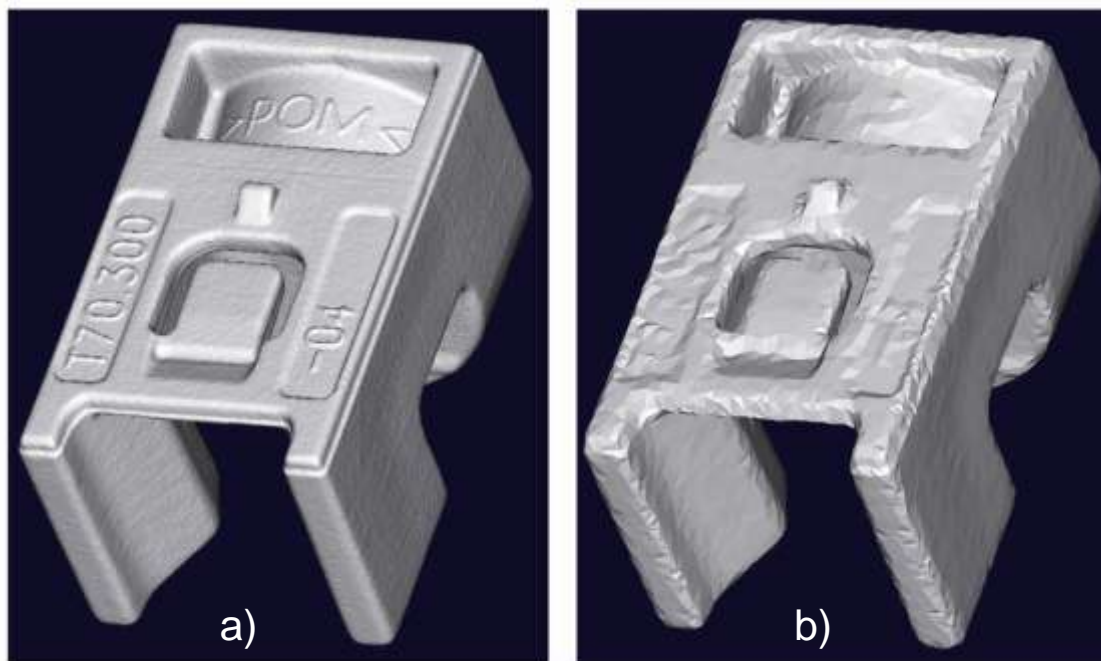
- 6000 Voxelů / 200 mm
- 1 Voxel => 33 μ m
- Nejmenší měřitelná struktura ca. 0.15 ... 0.5 mm

Rastrová tomografie pro zvýšení rozlišení:

- Obrobek pokrývá celou velikost rentgenového snímáče.
- Rozlišení není dostačující pro měření detailů.
- Posunutím obrobku krok za krokem podél osy otáčení (šipka) při větším zvětšení je obraz rozdělen do dílčích snímků. Ty jsou sloučeny později.
- Částečné snímky sloučené do celkového objemu, který má rozlišení, které odpovídá vysokému zvětšení.



Příklad měření s uspokojivým rozlišením (a) a neuspokojivým rozlišením (b).



Zvýšení rozlišení díky rastrové tomografii

Tomografie "v obraze"

1024

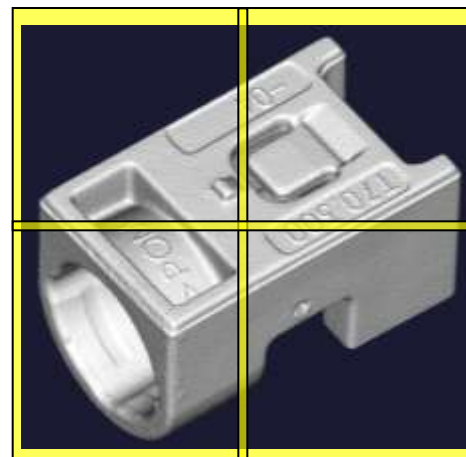


1024

Werth Rastrová Tomografie

1024

1024

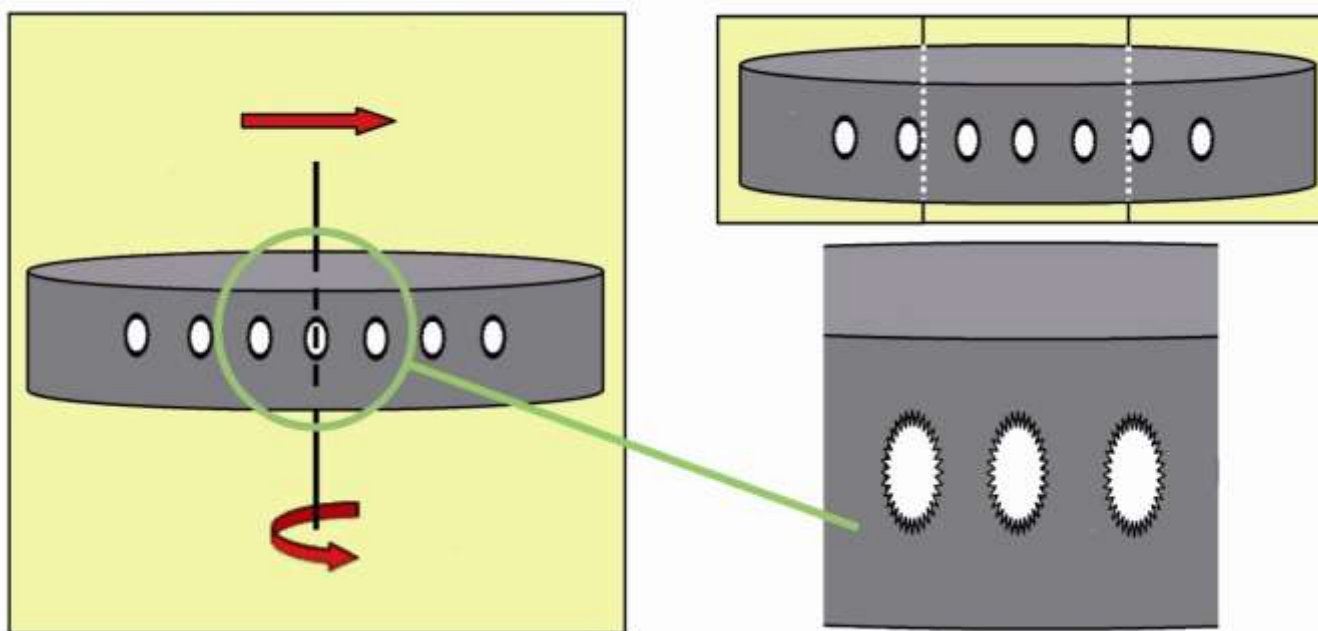


1024

1024

Rozlišení dle detektoru např.
 1024^2 pixelů

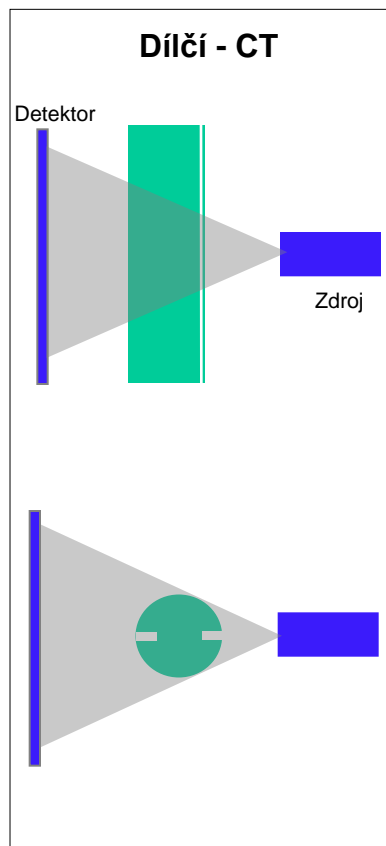
Rozlišení "podle přání" například: 2x2
detektoru (2048^2 pixelů)



- Rozšíření měřicího rozsahu až na průměr 500 mm

1. “Normální“ dílčí Tomografie:

ve všech polohách
otáčení je dílec prozářen.

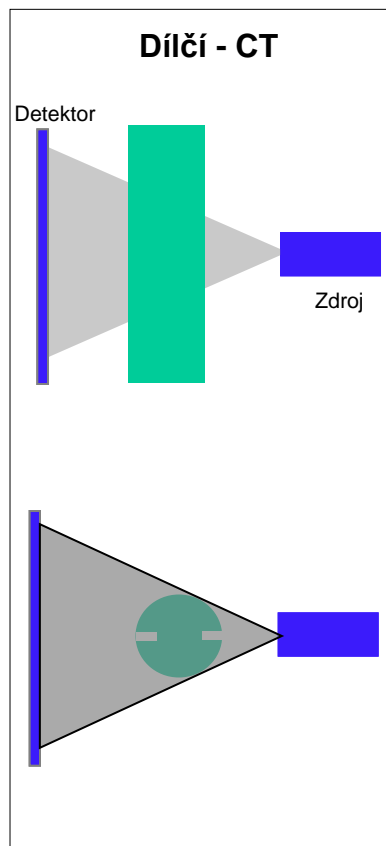


Oblast zájmu – CT

rozdíl vůči dílčí tomografii

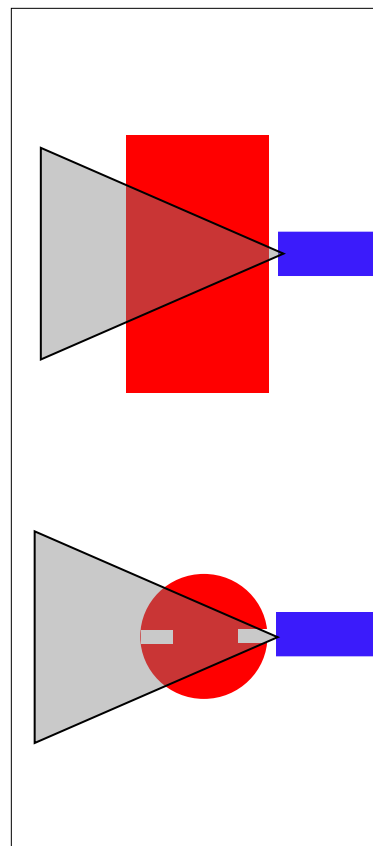
1. “Normální“ dílčí Tomografie:

ve všech polohách otáčení je dílec prozářen.



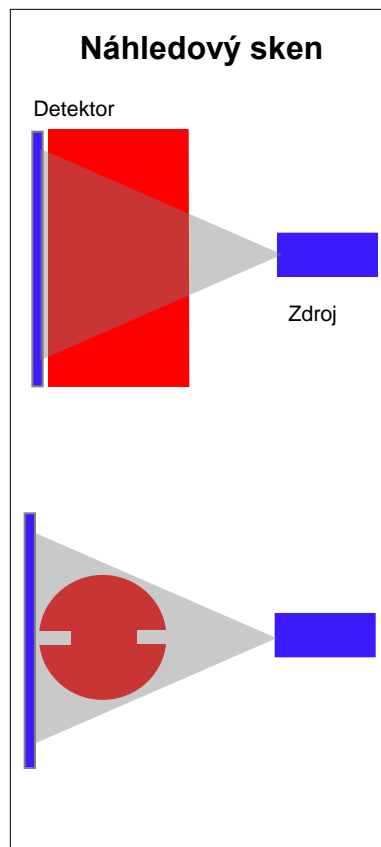
2. Lokální tomografie (ROI, Oblast zájmu):

dílčí oblasti nejsou prozářeny ve všech polohách otáčení → “Normální“ rekonstrukce způsobuje silné artefakty nebo zcela nefunguje.



1. krok:

Celý dílec je nasnímán s nízkým zvětšením. Všechny oblasti jsou prozářeny a měřeny.

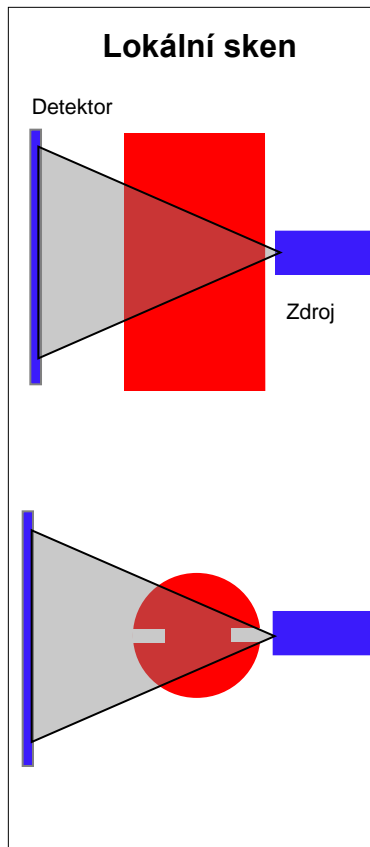
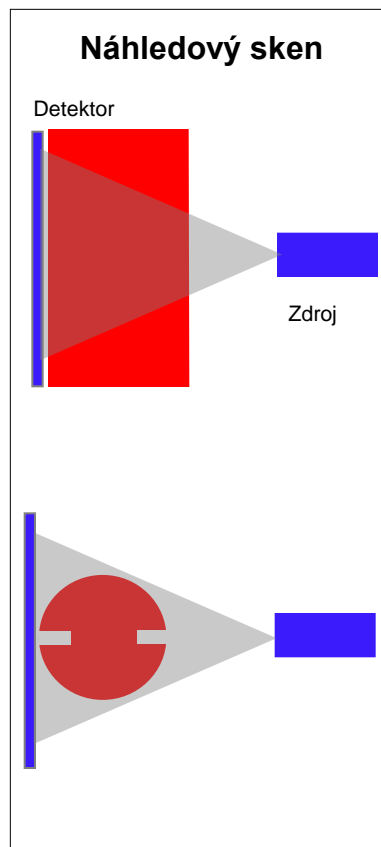


Oblast zájmu – CT

princip

1. krok:

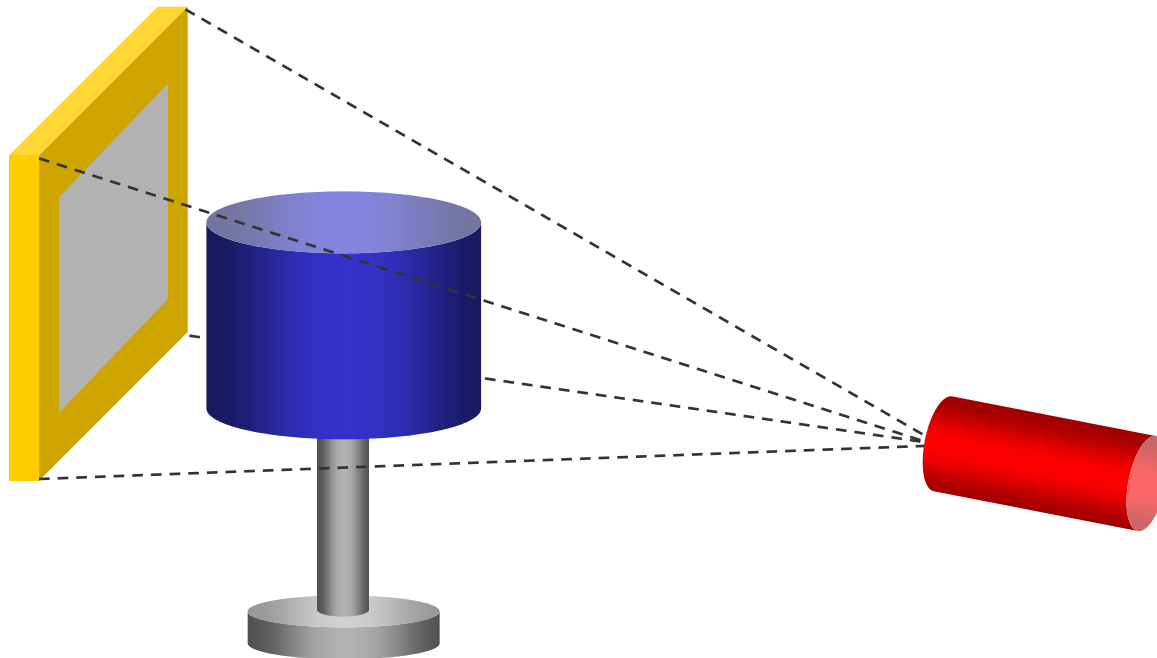
Celý dílec je nasnímán s nízkým zvětšením. Všechny oblasti jsou prozářeny a měřeny.



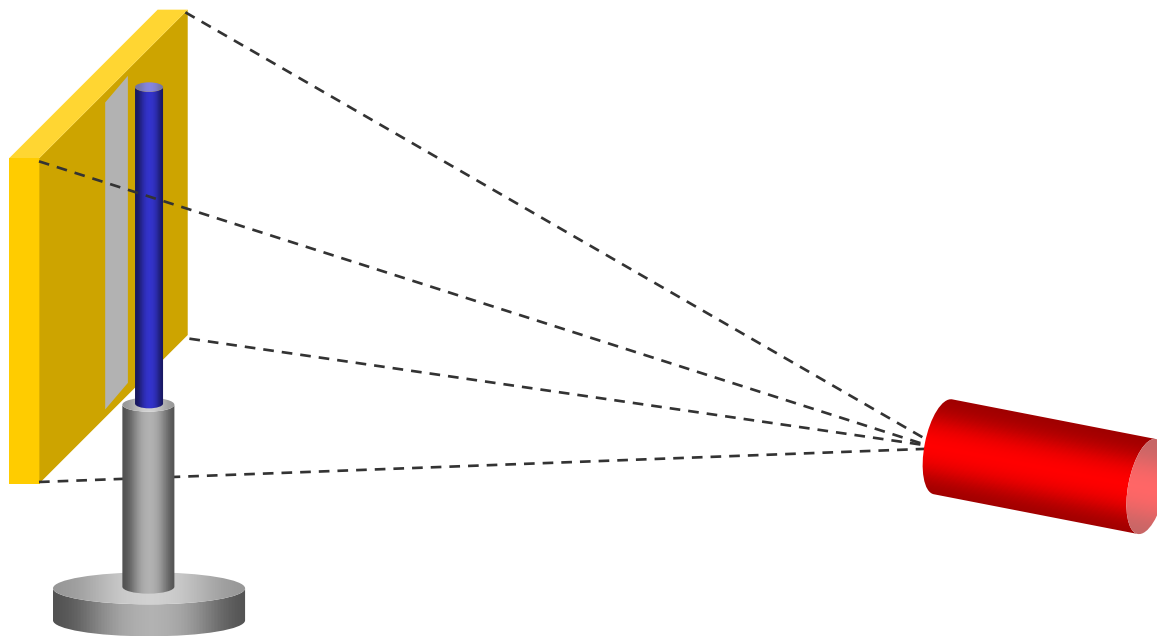
2. krok:

Oblast zájmu je exaktně nasnímána s nejvyšším rozlišením. Scházející informace jsou převzaty z měření provedením v prvním kroku. Rekonstrukce vede k exaktním datům v oblasti zájmu.

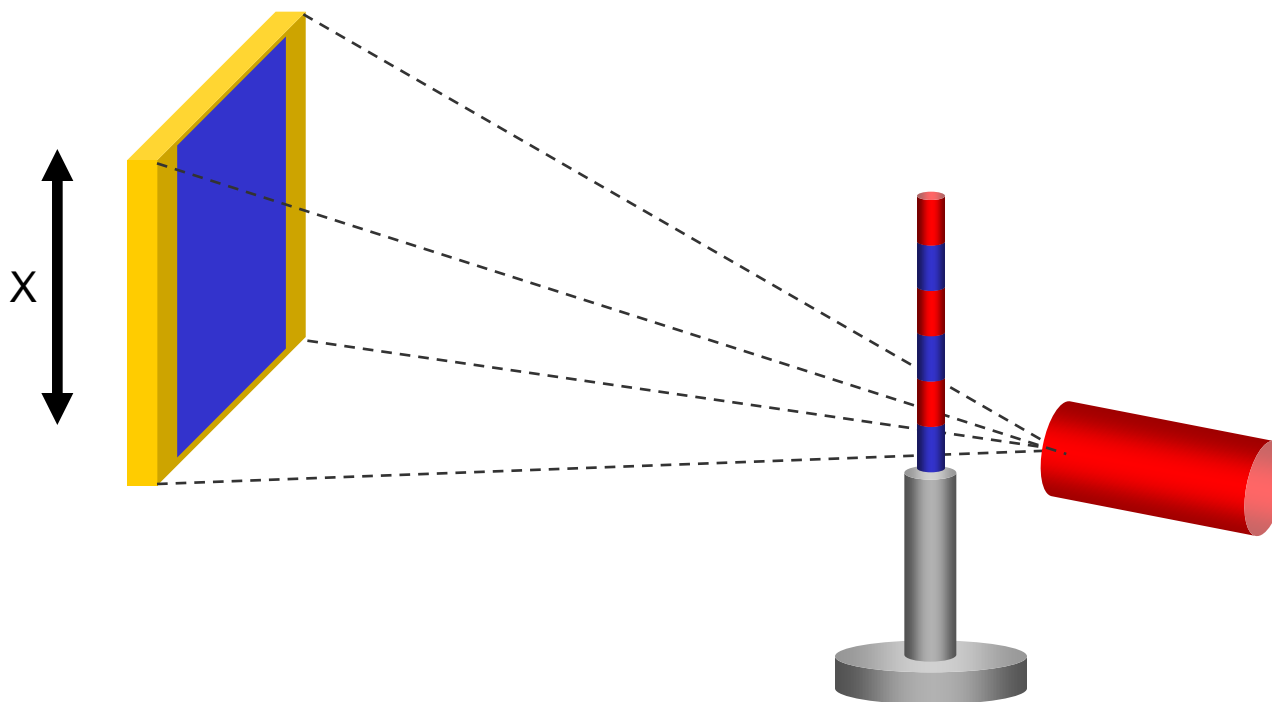
- Komponent je příliš velký pro umístění v přední části detektoru (nebezpečí kolize)
- Šířka komponentu vykrývá zobrazovací rozsah



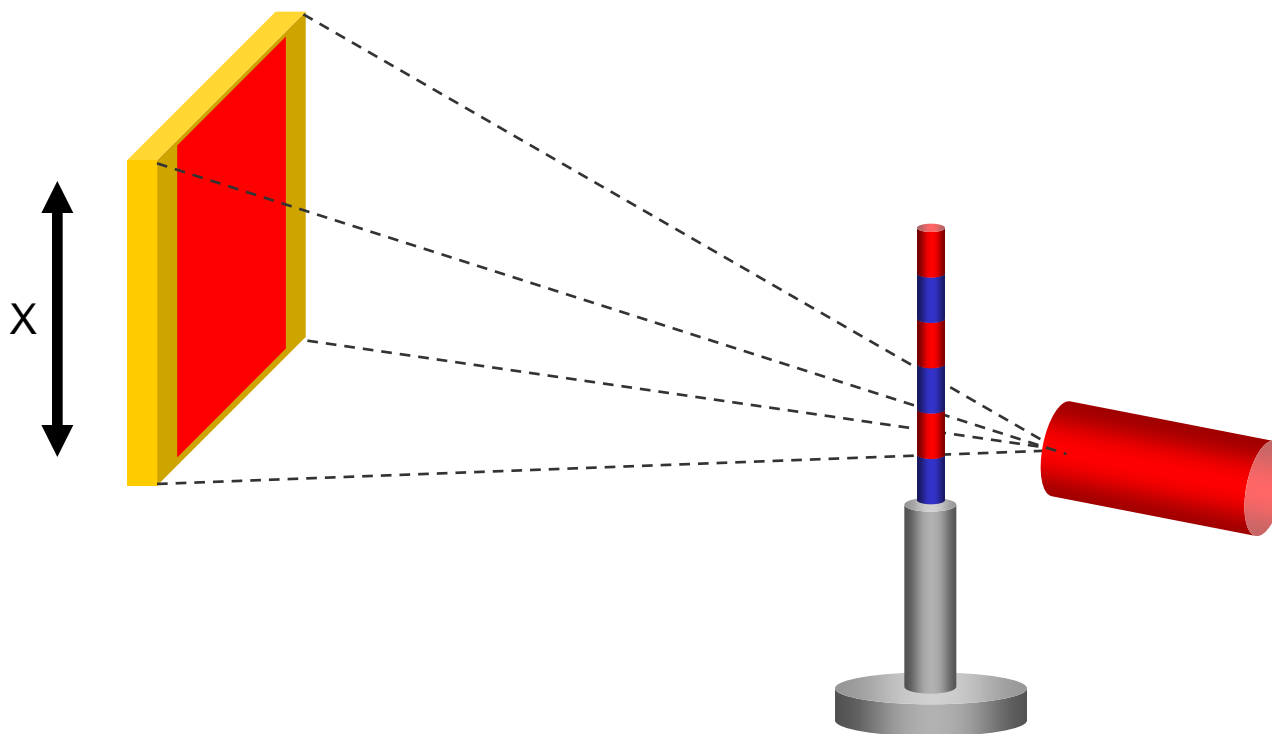
- Komponent lze umístit přímo před detektor



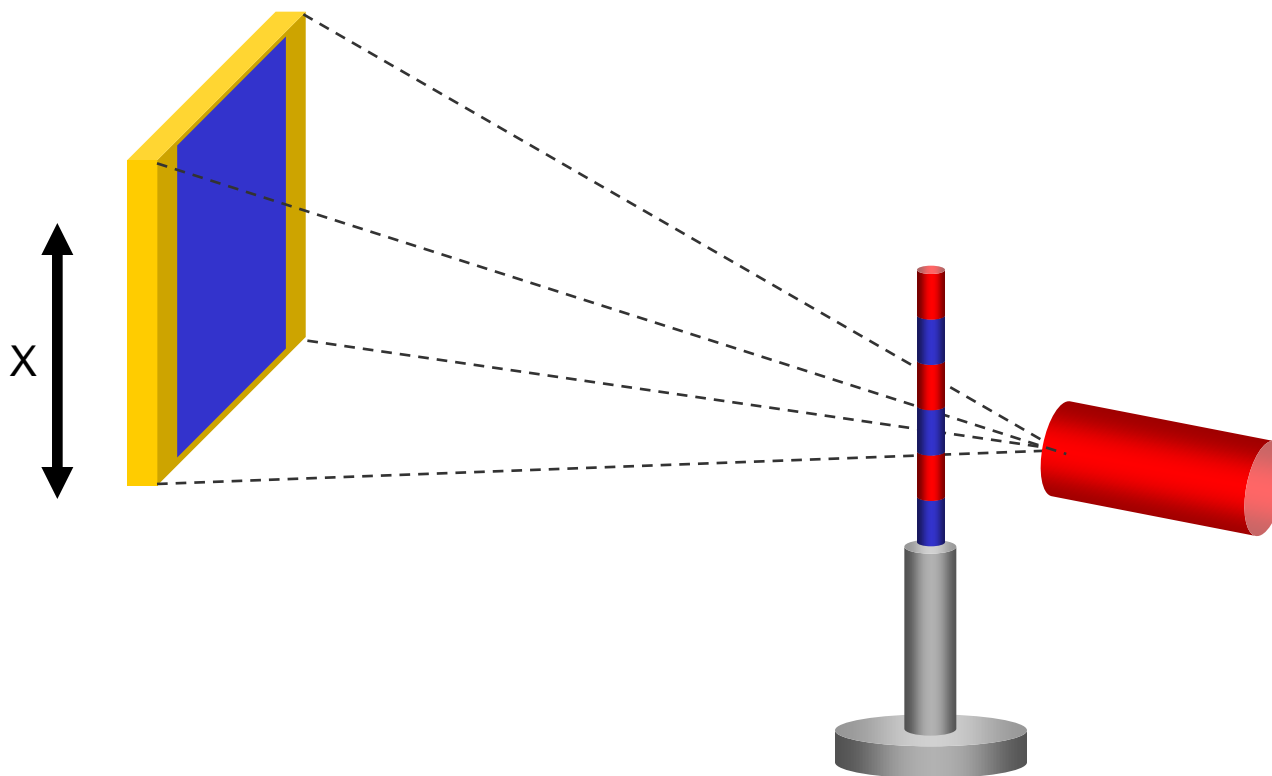
- Pro dílce s malým průměrem lze využít téměř celého pojezdu osy X



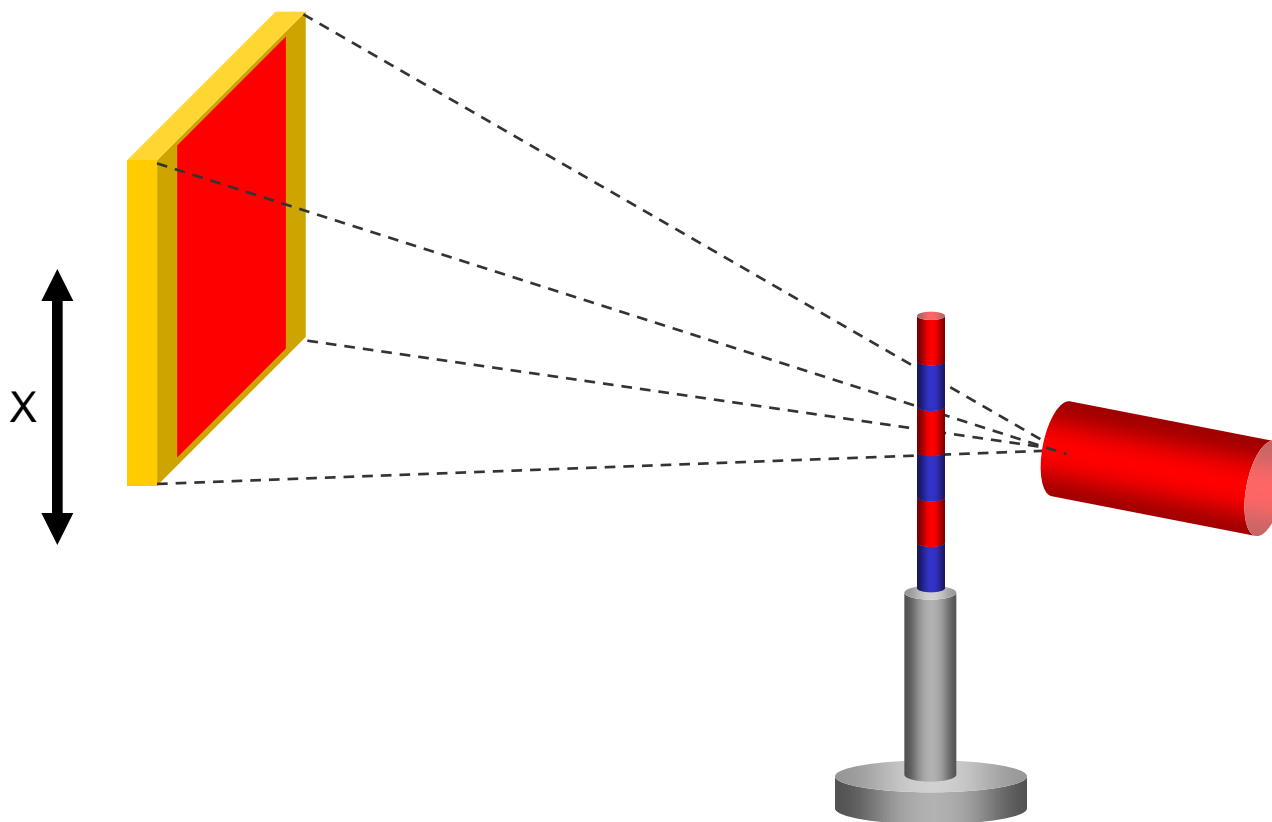
- Pro dílce s malým průměrem lze využít téměř celého pojezdu osy X



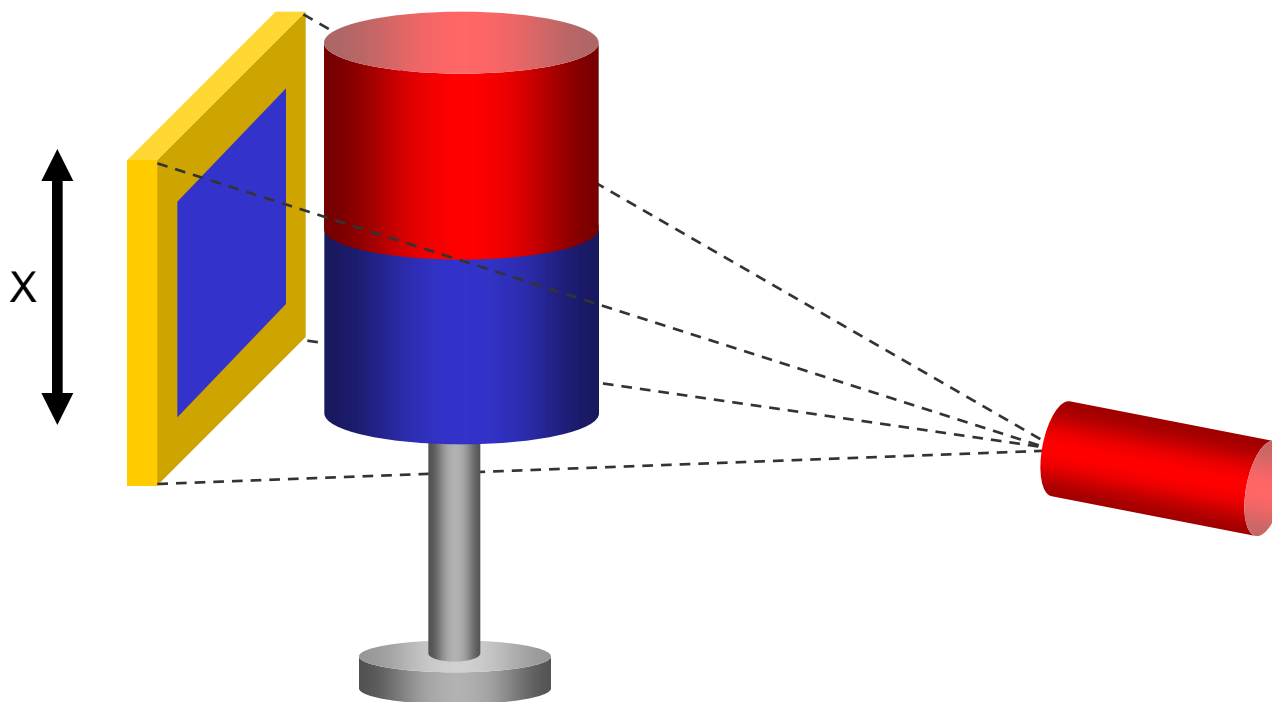
- Pro dílce s malým průměrem lze využít téměř celého pojezdu osy X

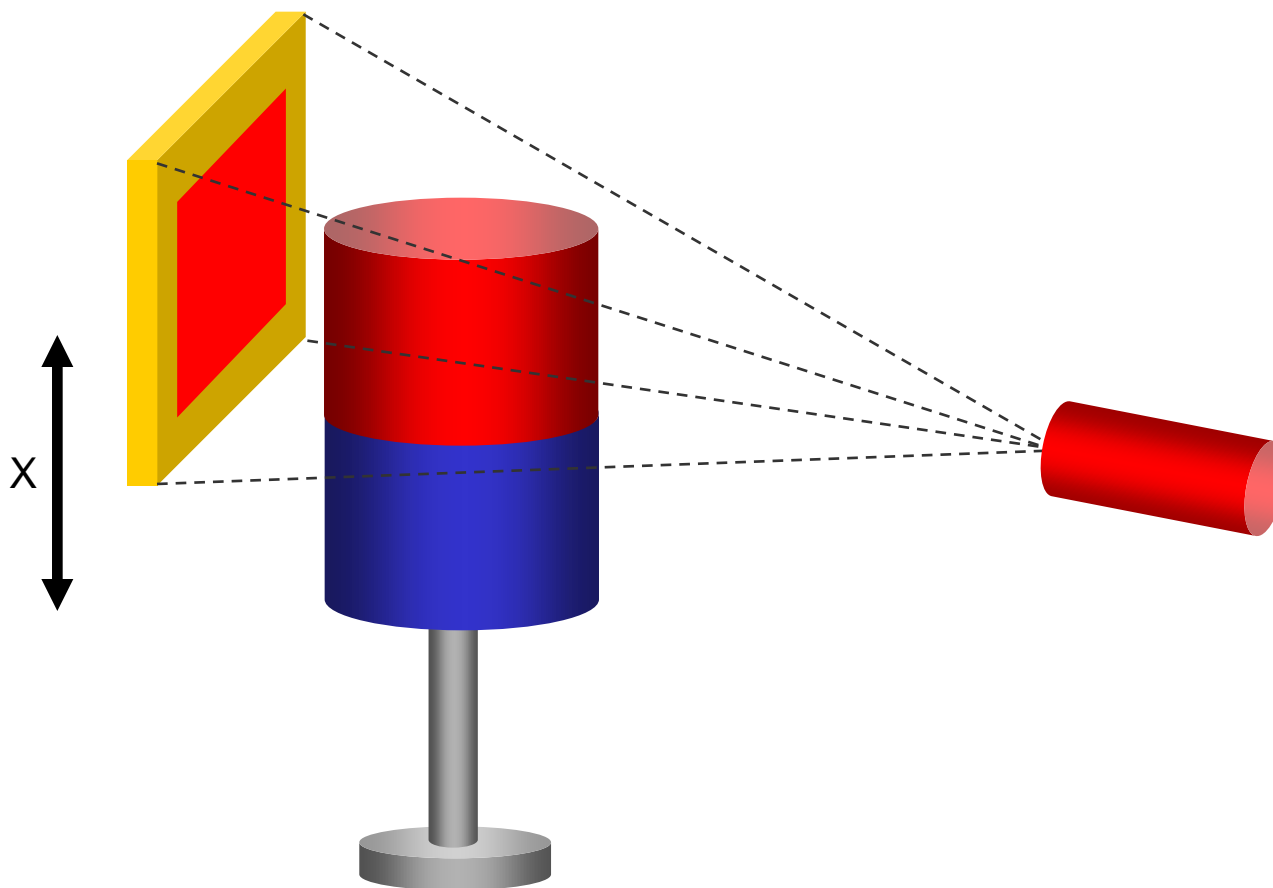


- Pro dílce s malým průměrem lze využít téměř celého pojezdu osy X



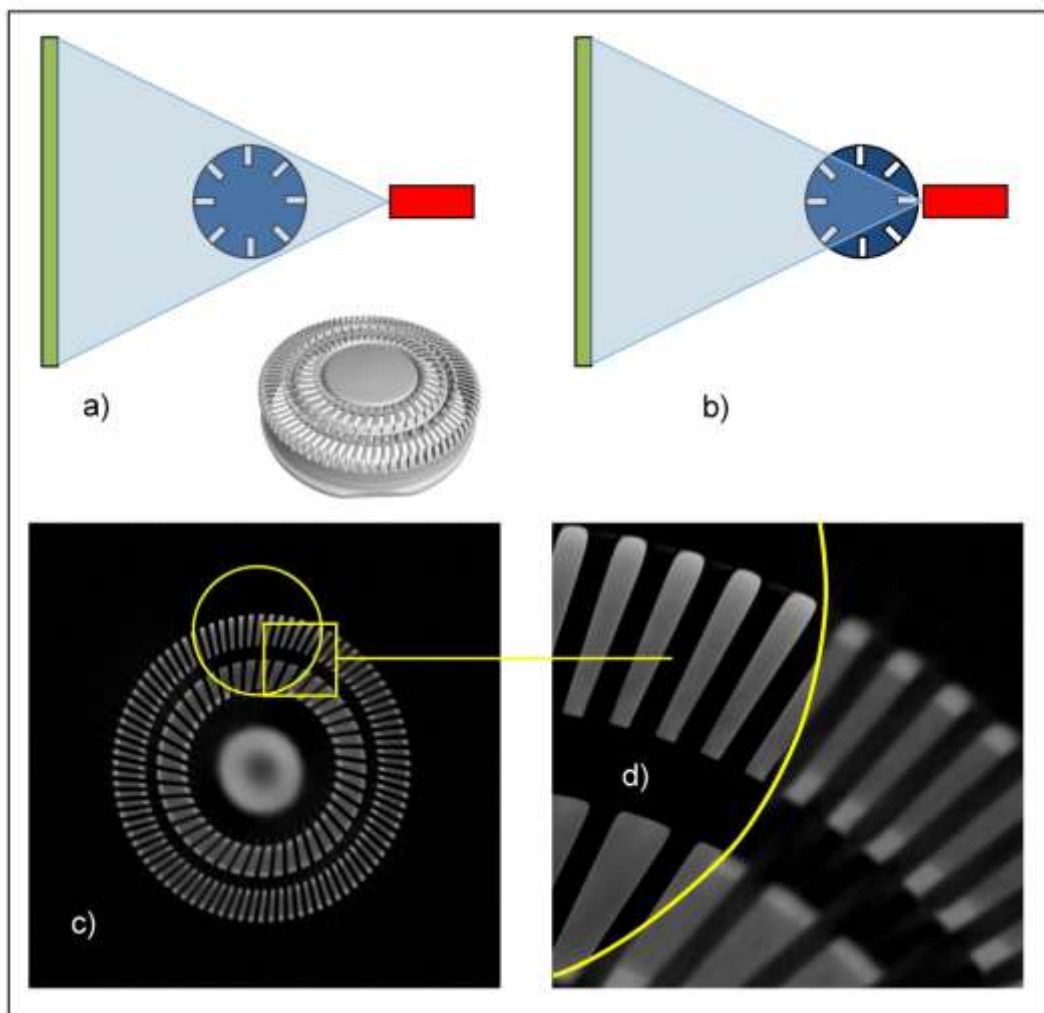
- Dílce s velkým průměrem lze detekovat pouze v menším rozsahu osy X vzhledem k poměru stran





Počítačová Tomografie Werth

ROI CT – příklad: holící planžeta elektrického stroju

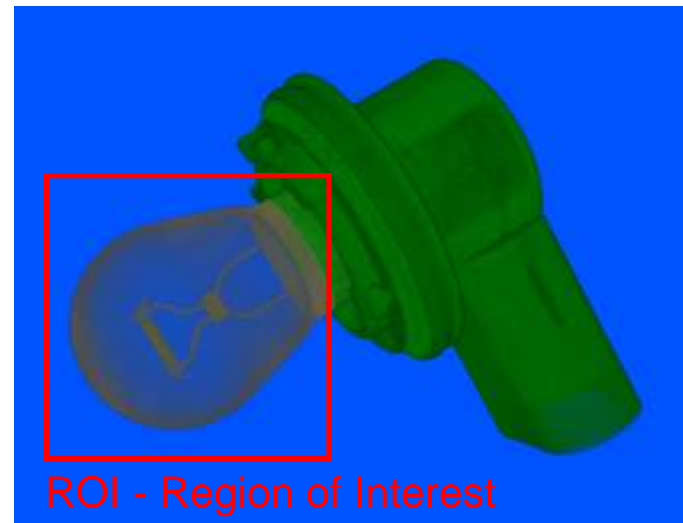
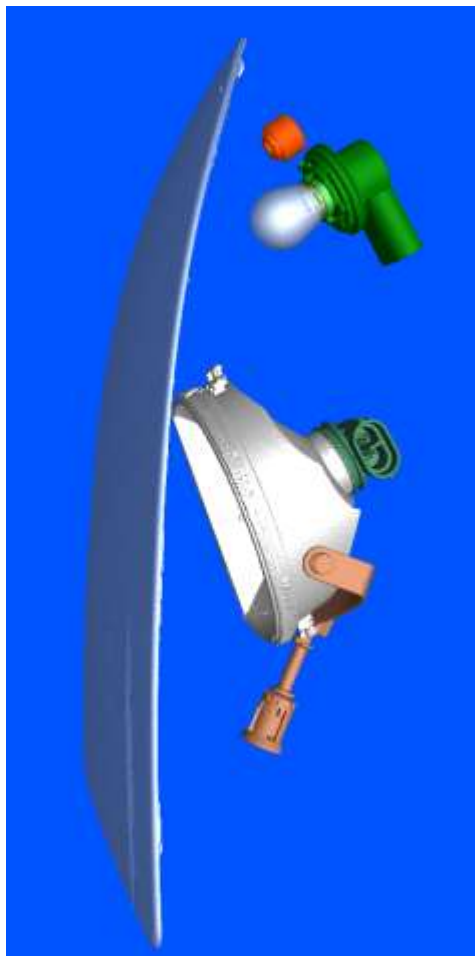
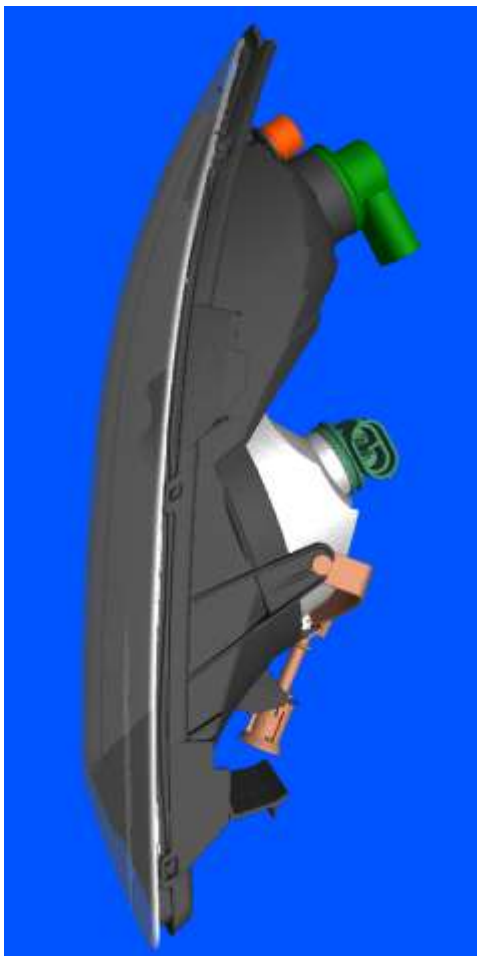


Rychlé snímání dílčích oblastí měřeného objektu s vysokým rozlišením:

- a) Zachycení celého objektu
- b) Zachycení oblasti zájmu
- c) Výsledek měření celého objektu
- d) Výsledek měření oblasti s vysokým rozlišením

Oblast zájmu ROI CT

příklad aplikace: světlomet vozidla

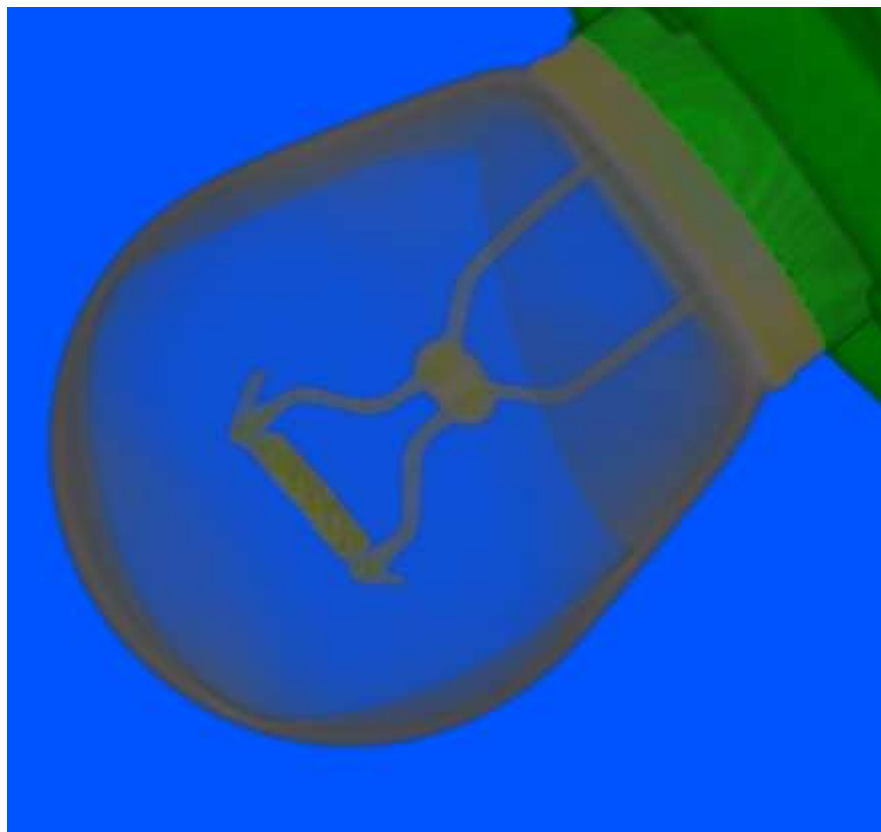


- Detail měření je umístěn v komponentu
- Oblast zájmu (ROI) výběr může být mnohem menší než celý komponent

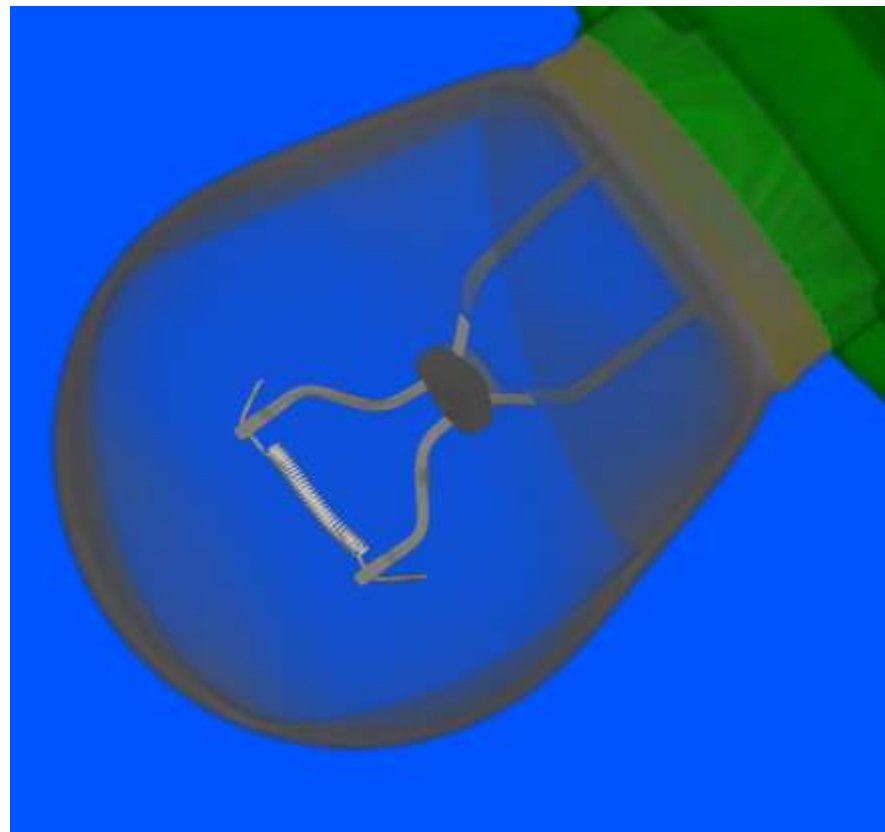
CT scan, segmented

Oblast zájmu ROI CT

příklad aplikace: světlomet vozidla



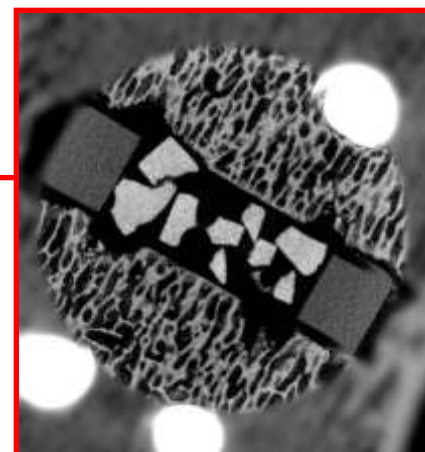
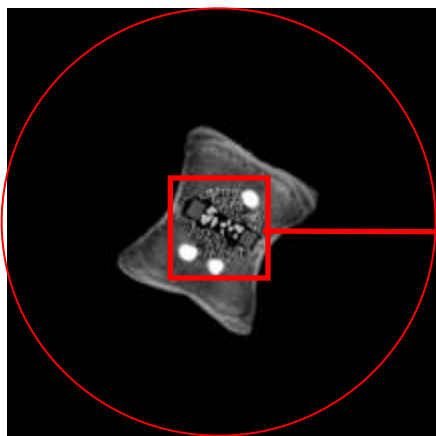
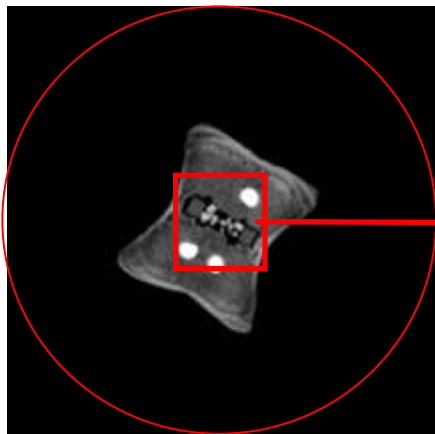
Výsledek bez ROI



Výsledek s ROI

Počítačová Tomografie Werth

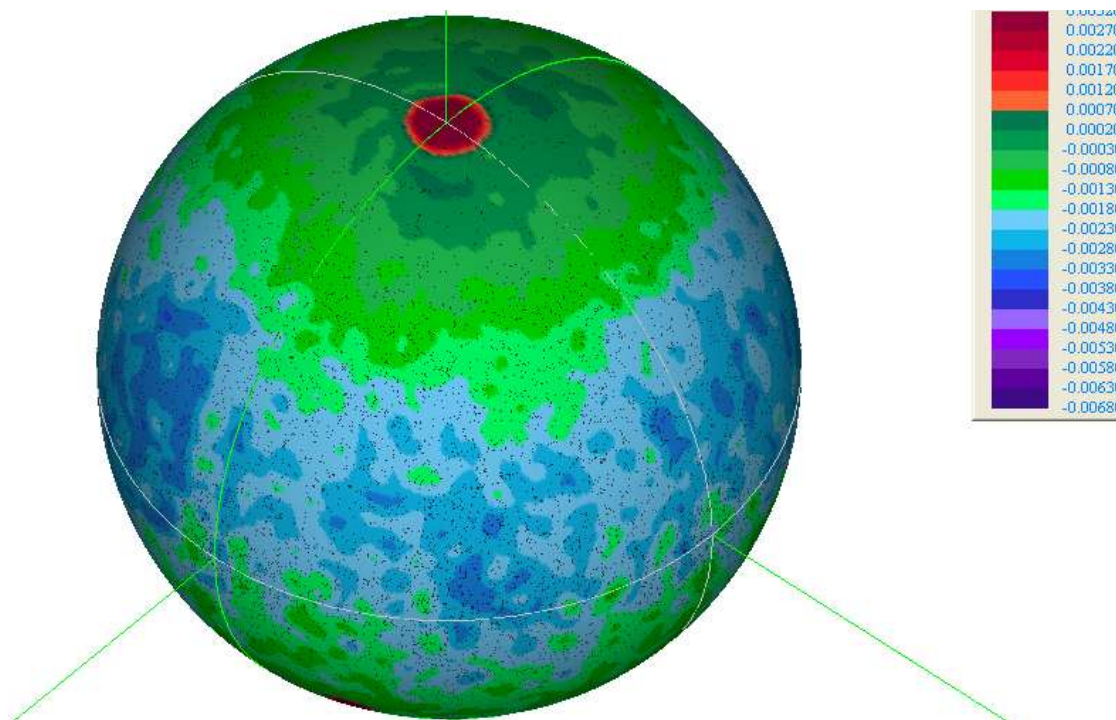
ROI CT – příklad kostního implantátu



Počítačová Tomografie Werth

vyšší nejistota měření díky kuželovému paprsku

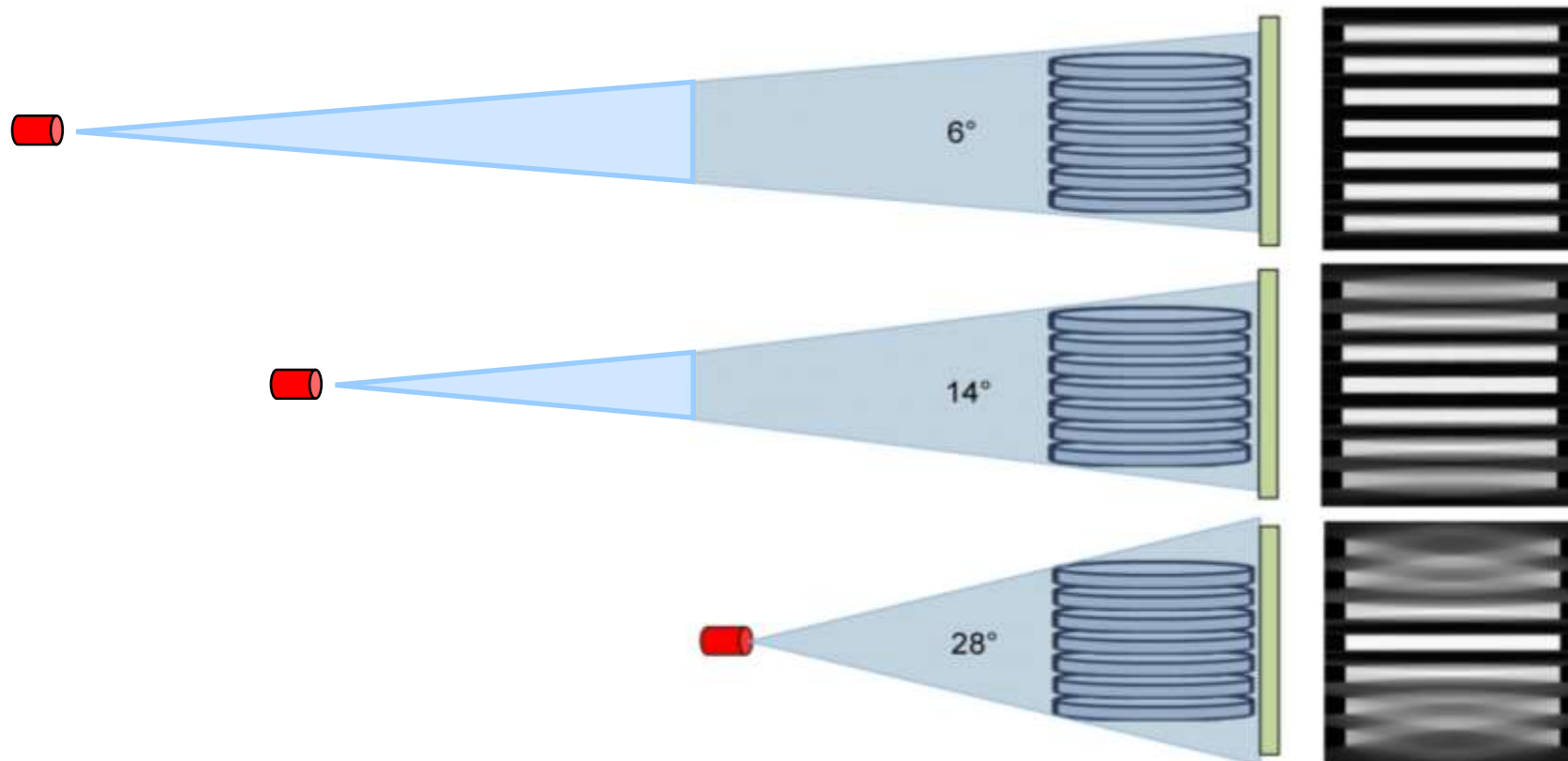
Efekt kuželového paprsku při měření: téměř ideální koule měřená s odchylkou několika mikrometrů v oblasti prezentované červenou barvou.



Počítačová Tomografie Werth

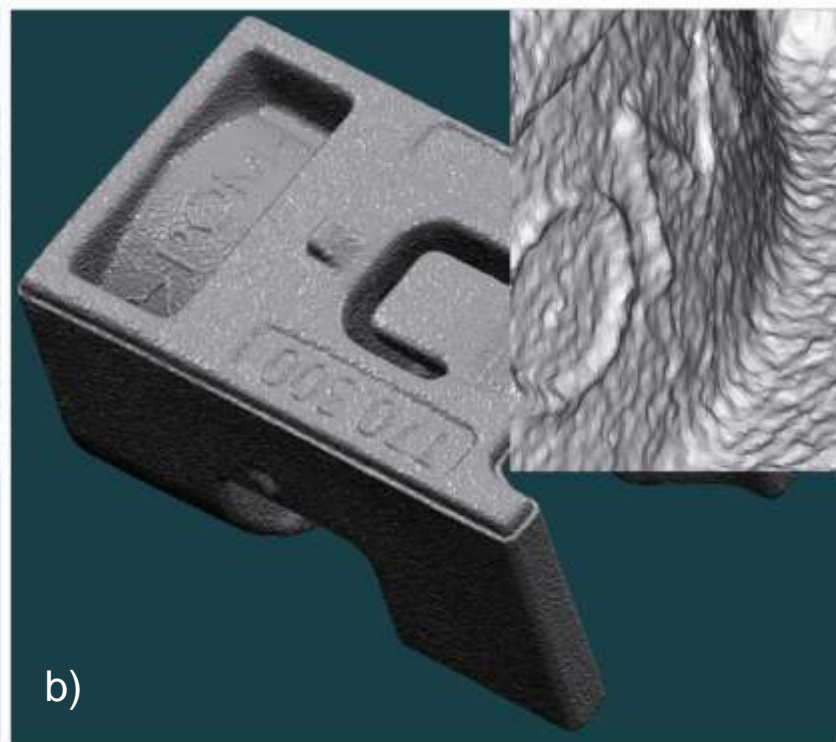
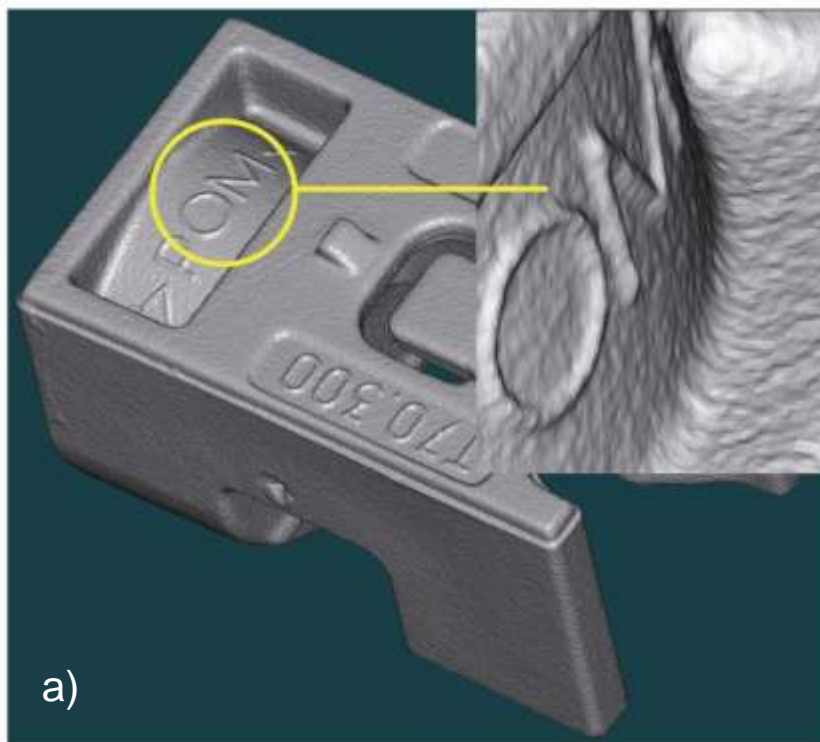
vyšší nejistota měření díky kuželovému paprsku

Původ artefaktů kuželového paprsku:
s narůstajícím úhlem kuželového paprsku jsou artefakty výraznější



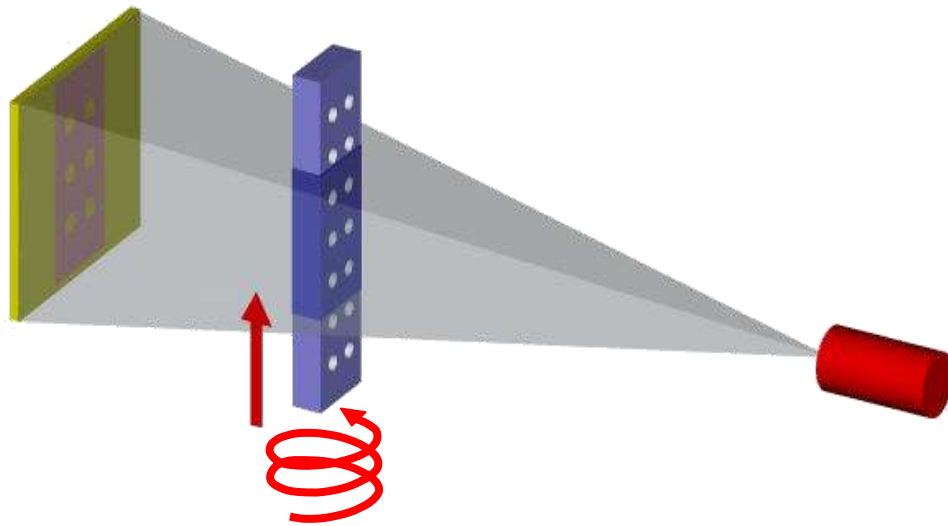
Závislost výsledků měření na úhlu kužele a čase snímání:

- a) Nízká úroveň šumu při pomalém měření s malým úhlem kužele nebo rychle při velkém úhlu kužele
- b) Vysoká úroveň šumu při rychlém měření s malým úhlem kužele.



Počítačová Tomografie Werth

malá nejistota měření díky spirálové tomografii

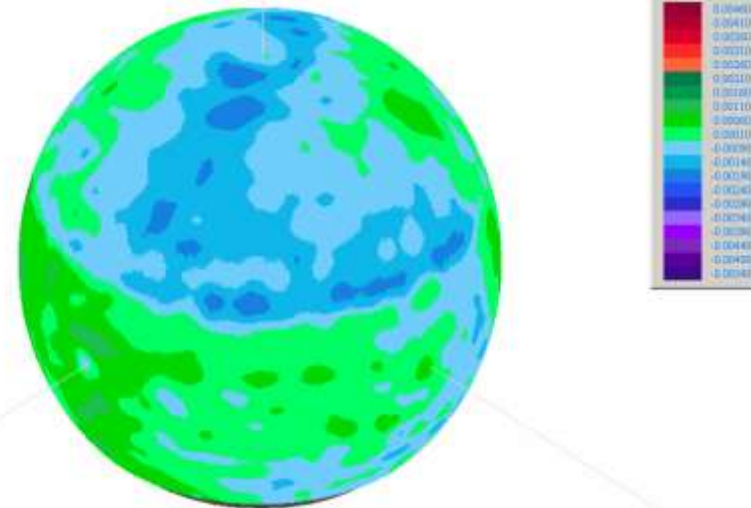


- Měřený objekt se pohybuje po spirálovité šroubovici skrze měřicí rozsah detektoru

→ Tomografie s převahou paprsku v blízkosti osy snímání

→ Redukcí artefaktů

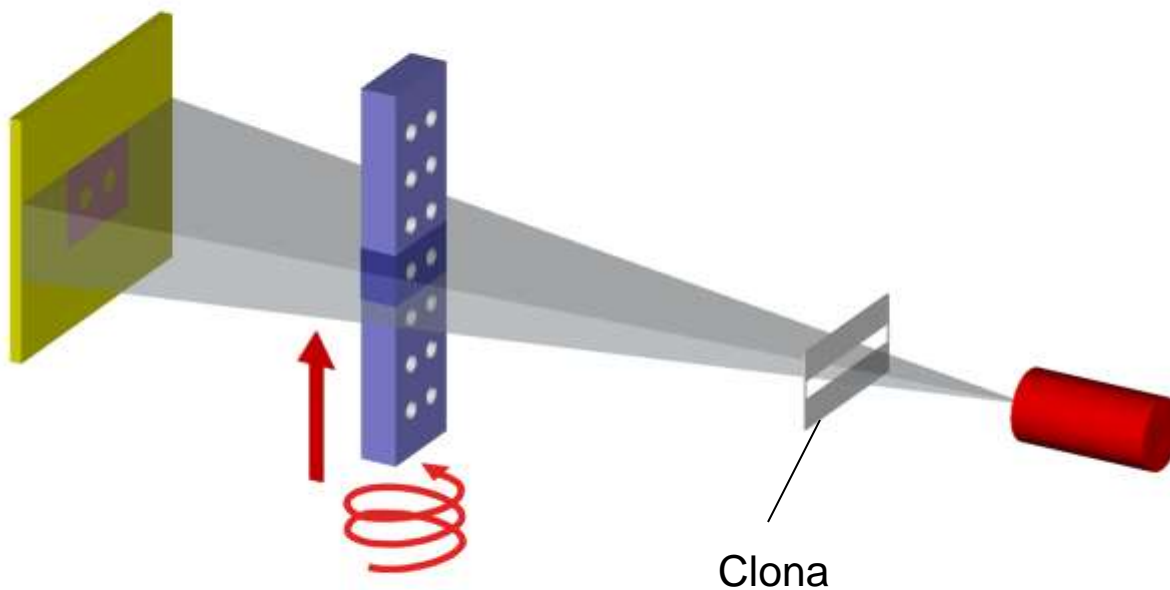
Výsledek: →



VT-A-11-08-0592_E

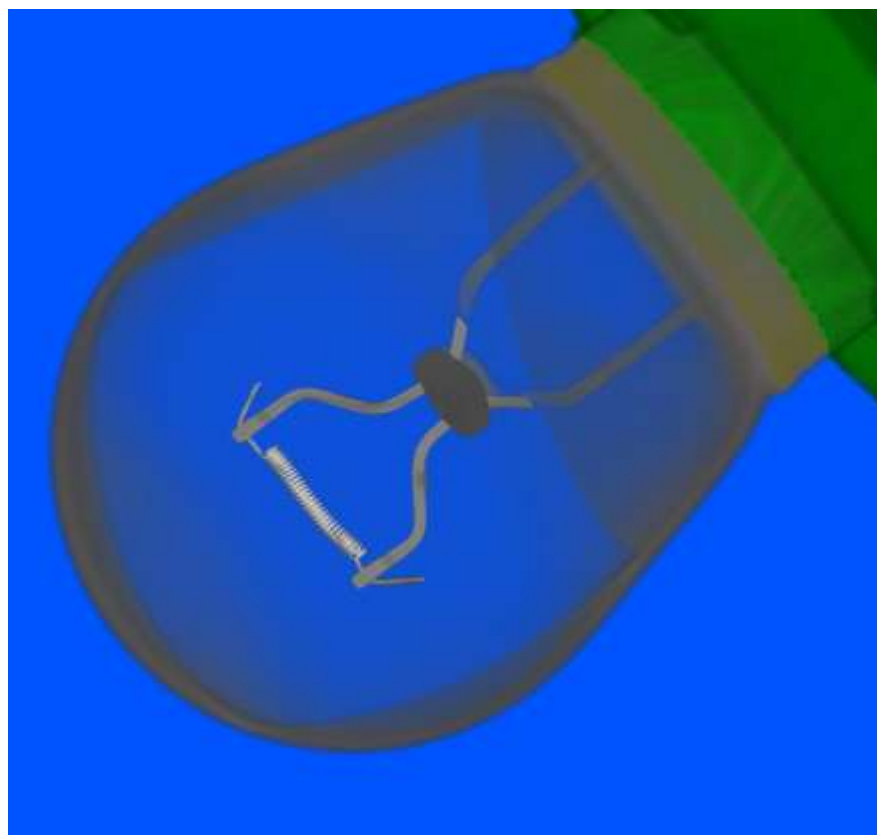
Počítačová Tomografie Werth

Spirálová tomografie se štěrbinovou clonou



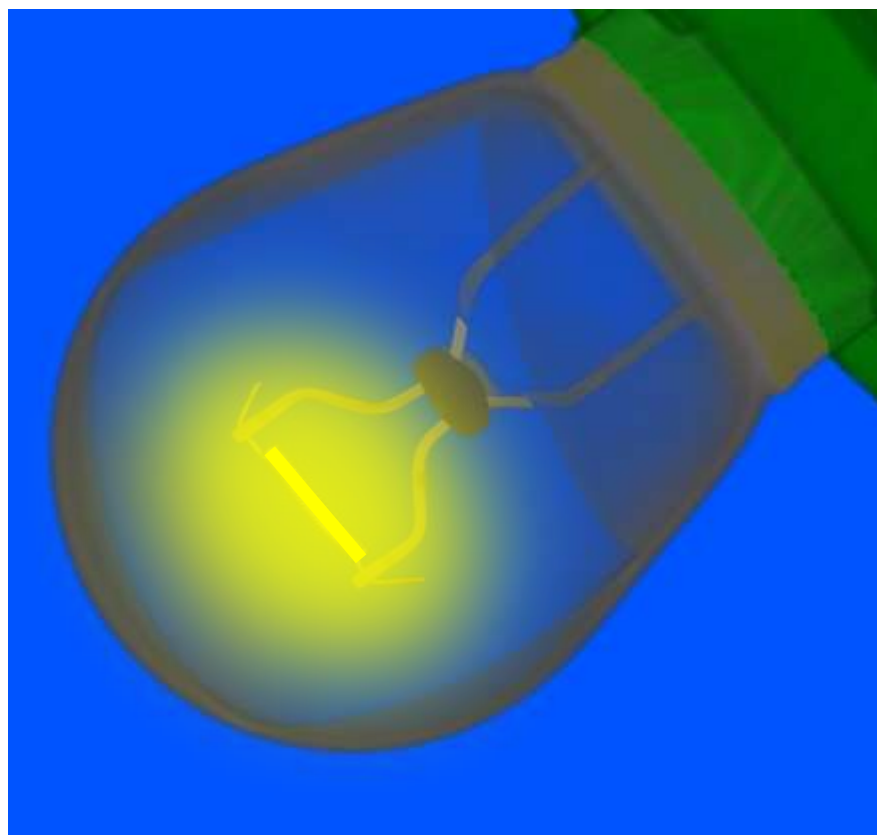
Děkuji za Vaši pozornost!

Dotazy?



Děkuji za Vaši pozornost!

Dotazy?



K dispozici je první technická publikace o technologii počítačové tomografie s důrazem na průmyslovou metrologii.

