

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

307 920

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

G01N 23/223 (2006.01)
G06T 15/08 (2011.01)
B44B 1/02 (2006.01)
B44C 3/06 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2018-60**
(22) Přihlášeno: **05.02.2018**
(40) Zveřejněno: **21.08.2019**
(Věstník č. 34/2019)
(47) Uděleno: **10.07.2019**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **21.08.2019**
(Věstník č. 34/2019)

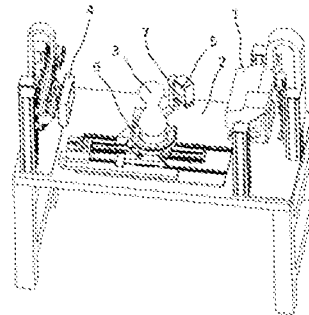
(56) Relevantní dokumenty:

T.Čechák, J. Gerndt, I. Kopecká, L. Musílek: X-ray fluorescence in research on Czech cultural monuments, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B, Vol. 213, January 2004, pages 735–740, doi:10.1016/S0168-583X(03)01695-1, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168583X03016951>; C.Calza, D.F.Oliveira, R.P.Freitas, H.S.Rocha, J.R.Nascimento, R.T.Lopes: Analysis of sculptures using XRF and X-ray radiography, Radiation Physics and Chemistry, Vol. 116, November 2015, pages 326–331, Available online 25 April 2015, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969806X15001504>; Yale University; Institute for the Preservation of Cultural Heritage; Announcement: X-ray Fluorescence Boot Camp for Conservators, 01.08.2013, <https://ipch.yale.edu/news/x-ray-fluorescence-boot-camp-conservators-0>; International Atomic Energy Agency, The Agency's Laboratories Seibersdorf and Vienna, Saliera Examination, January 2007, https://www.iaea.org/OurWork/ST/NA/NAAL/events_visitors/saliera_examination.php; William G. Schulz: Chemists tap museum collections as a rich source of novel research questions, collaborations, Science From Art, Volume 87, Issue 42, pages 12–16, <https://cen.acs.org/articles/87/i42/Science-Art.html>; NanoRay Science, Bruker M6, Micro XRF, 2016, <http://nanoray.com.tw/product/6>.
WO 2016116078 A; DE 102006044417 A; EP 0985926 A; DE 289935 C.

(73) Majitel patentu:
Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR,
v.v.i., Praha 9, Prosek, CZ

(72) Původce:
Ing. Tomáš Fíla, Zadní Třebaň, CZ
Ing. Daniel Vavřík, Ph.D., Praha 8, Libeň, CZ

(74) Zástupce:
PatentCentrum Sedlák & Partners s.r.o., Okružní
2824, 370 01 České Budějovice, České Budějovice
3



(54) Název vynálezu:

Zařízení pro skenování soch

(57) Anotace:

Zařízení pro skenování soch (3) je sestaveno z alespoň jednoho zdroje (1) rentgenového záření pro ozařování skenované sochy (3), z alespoň jednoho detektoru (4) pro detekci rentgenového záření vystupujícího ze skenované sochy (3) a z rotačního tomografického stolku pro nesení skenované sochy (3). Současně je zařízení opatřeno 3D fluorescenčním skenerem tvořeným alespoň jednou kamerou (5) pro snímání fluorescenčního záření vystupujícího z povrchu skenované sochy (3). Kamera (5) pro snímání fluorescenčního záření je uspořádána k unašeči (6) pro její polohování okolo skenované sochy (3).

Zařízení pro skenování soch

Oblast techniky

5

Vynález se týká zařízení, které slouží k vytváření věrných digitálních kopií soch, zejména soch s historickou hodnotou, pro jejich zkoumání, archivování a restaurování.

10 Dosavadní stav techniky

Potřeba vytvářet digitální kopie soch, zejména soch s historickou hodnotou, pramení z toho, že jsou mnohé historické sochy natolik vzácné, že není možné je poskytovat odborným pracovištím, kdykoliv o ně požádají. Současně s každou manipulací existuje riziko poškození historické sochy, či dokonce její krádež. Navíc mají sochy mnohdy velký spirituální nebo národní význam, díky kterému veřejnost nerada vidí manipulaci se sochami, natož, aby takové sochy poskytla zahraničním laboratorům. Pokud je však vytvořen digitální model sochy, mohou výzkumníci z celého světa k modelu přistupovat stejně tak, jako by měli předlohu přítomnou na svém pracovišti. To odborníkům usnadňuje práci při výzkumu, dále např. při přípravě pro restaurování, atp. V neposlední řadě slouží digitální modely soch k jejich archivaci pro případ jejich ztráty, nebo pro výrobu jejich kopie, např. pro bezpečné vystavení sochy na veřejném místě.

Pro tvorbu věrných digitálních modelů vnitřních struktur objektů se v současné době využívá výpočetní tomografie. V rámci realizace výpočetní tomografie se objekt prozařuje svazkem pronikavého záření, zpravidla svazkem rentgenového záření, které je po vystoupení z objektu detekováno zobrazovacím detektorem pronikavého záření. Zobrazovací detektory pronikavého záření rozpoznají změny v intenzitě záření způsobené vnitřní strukturou objektu, načež je vytvořen dvojrozměrný snímek vnitřní struktury. Po nasbírání dostatečného souboru snímků vnitřní struktury pořízených z více směrů ozařování dojde pomocí výpočtů k vytvoření trojrozměrného modelu objektu, včetně jeho vnitřní struktury.

Výsledkem výpočetní tomografie je digitální model objektu, jehož tvar a vnitřní struktura jsou věrné skutečnosti. Na druhou stranu takový digitální model postrádá jednoznačnou informaci o prvkovém složení objektu. Z toho důvodu se při provádění výpočetní tomografie může současně detekovat fluorescenční záření, které je doprovodným jevem při dopadu pronikavého záření na atomy hmoty tvořící objekt. Při dopadu pronikavého záření na atom hmoty objektu dojde k excitaci elektronů daného atomu, které při návratu do původního stavu vyzařují přebytečnou energii ve formě charakteristického fluorescenčního záření. Pokud je při výpočetní tomografii souběžně detekováno fluorescenční záření dalším detektorem, tak se jedná o fluorescenční výpočetní tomografii, v rámci které je možné do digitálního modelu objektu vložit informaci o prvkovém složení objektu.

Příkladem řešení analýzy prvkového složení pomocí fluorescence je vynález z přihlášky vynálezu WO 2016116078 A1, ve které se používá detekce fluorescenčního záření k objemové prvkové analýze plochých těles.

Nevýhoda fluorescenční výpočetní tomografie spočívá v tom, že fluorescenční záření běžně používaných prvků má nízkou energii, a proto i velice omezenou pronikavost. Z toho důvodu je výše uvedené řešení použitelné např. u tenkých objektů, či u objektů malých rozměrů v jednotkách centimetrů, jejichž objem nezastiňuje fluorescenční záření. Tuto podmínku bohužel nesplňují sochy, které mají rozměry v řádech desítek centimetrů a více.

U objektů větších rozměrů, jejichž objemová mocnost, či vysoká hustota, odstiňuje fluorescenční záření, je možné získat informaci o prvkovém složení na jejich povrchu do hloubky jednotek milimetrů. Což je v případě tvorby digitálních modelů soch dostačující, neboť sochy jsou

z pravidla na relativně materiálově homogenním těle opatřeny polychromií, jejíž mocnost citlivost skenování do hloubky několika milimetrů zpravidla nepřekračuje. Současně je právě polychromie jednou z nejvíce zkoumaných vlastností sochy, která musí být na digitálním modelu nejvěrněji zaznamenána, vzhledem k tomu, že vrstvy polychromie aplikované na sochách se liší recepturou podle historické doby, a dále se liší prvkovým složením podle barevného odstínu. Podrobná znalost prvkového složení polychromie je nezbytná pro studium zkoumané sochy.

Fluorescenční analýza povrchů soch se standardně provádí bodově, pouze na vybraných místech – měření bod po bodu je mimořádně časově náročné. Používané přístroje navíc vyžadují přímý přístup ke zkoumanému povrchu na krátkou vzdálenost.

Další komplikací při fluorescenční prvkové analýze povrchu zkoumané sochy je to, že sochy mají zpravidla velice členitou strukturu a složité tvary, např. záhyby ošacení, držení končetin, objetí nebo kontakt dvou a více figur, držení těla atp., které vytvářejí na povrchu sochy pro standardní fluorescenční analýzu zastíněné oblasti.

Příkladem známého statického zařízení je zařízení popsané v článku T.Čechák, J. Gerndt, I. Kopecká, L. Musílek: X-ray fluorescence in research on Czech cultural monuments, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B, Vol. 213, January 2004, pages 735–740, doi:10.1016/S0168-583X(03)01695-1. Zařízení popisované v tomto článku pro vybuzení fluorescenčního signálu používá radioizotopové zářiče, pro analýzu XRF záření je použit jednokanálový (jednopixelový) detektor. Radioizotopový zářič i XRF detektor jsou umístěny staticky, bez polohovacího zařízení. Zařízení je jednoduché, bez možnosti prostorově přesného určování prvkové rozložení prvků na povrchu zkoumaného artefaktu. Neumožňuje zkoumat členité povrchy a záchyty, které jsou na sochách běžné.

Dalším příkladem je zařízení popsané v článku C.Calza, D.F.Oliveira, R.P.Freitas, H.S.Rocha, J.R.Nascimento, R.T.Lopes: Analysis of sculptures using XRF and X-ray radiography, Radiation Physics and Chemistry, Vol. 116, November 2015, pages 326–331, Available online 25 April 2015. Zařízení popisované v tomto článku je vybaveno RTG lampou a jednokanálovým XRF detektorem, které jsou umístěny na statickém stativu bez možnosti přesného polohování okolo zkoumané sochy. XRF data jsou získána pouze ve vybraných bodech. Zařízení popisované v tomto článku sice umožňuje i dvourozměrnou radiografii, ale nedává informace o vztahu mezi geometrií povrchu sochy a XRF měřením, ani informaci o rozložení prvků po celé ploše zkoumaného předmětu.

Rovněž zařízení popsané v článku NanoRay Science, Bruker M6, Micro XRF, 2016 je určeno pro zkoumání prvkového rozložení v ploše plochých objektů, především pak obrazů. Rámový skener nese RTG lampu a jednokanálový XRF detektor, které jsou vůči sobě ve fixní geometrii a vůči obrazu se pohybují v konstantní vzdálenosti, v rovině paralelní s plochou zkoumaného objektu. Takové uspořádání je velmi vhodné pro ploché objekty, není však použitelné pro prostorově komplikované sochy, především s ohledem na požadavek konstantní a relativně malé vzdálenosti XRF detektoru od objektu.

Úkolem vynálezu je vytvoření zařízení pro skenování soch, které by umožňovalo vytvoření věrného digitálního modelu sochy, včetně její vnitřní struktury a prvkové analýzy celého jejího povrchu.

Podstata vynálezu

Vytčený úkol je vyřešen vytvořením zařízení, které se unikátním způsobem skládá z tomografického skeneru s rotačním tomografickým stolem a z 3D fluorescenčního skeneru.

Zařízení pro skenování soch je sestaveno z alespoň jednoho zdroje rentgenového záření pro ozařování skenované sochy, z alespoň jednoho zobrazovacího detektoru pro detekci rentgenového záření vystupujícího ze skenované sochy a z rotačního tomografického stolku pro nesení skenované sochy.

5

Podstata vynálezu spočívá v tom, že 3D fluorescenční skener tvoří alespoň jedna kamera pro snímání fluorescenčního záření vystupujícího z povrchu skenované sochy, která je uspořádána k unašce pro její polohování okolo sochy. Kamera pro skenování fluorescenčního záření slouží k naskenování ploch povrchu sochy, a to i míst zastíněných jejím členitým tvarem. Kamerou je možné kromě dobře viditelných ploch snímat různé zákruty, mezery a kapsy na povrchu skenované sochy. Výhodou vynálezu je, že zařízení pro skenování soch kombinuje metodu výpočtové tomografie a analýzu prvkového složení pomocí fluorescenčního záření. Pomocí tohoto zařízení je možno metodou výpočtové tomografie získat objemový model sochy a na jeho povrch následně promítnout informaci o prvkovém složení povrchové vrstvy sochy získané z fluorescenční analýzy.

15

Ve výhodném provedení zařízení podle vynálezu je unašec tvořen goniometrem opatřeným nosným ramenem pro upevnění kamery pro snímání fluorescenčního záření. Goniometr umožňuje přesně polohovat nosné rameno s kamerou okolo skenované sochy v rozsahu 360°, a následně kameru držet v klidu po dobu snímání obrazu.

20

Ve výhodném provedení zařízení podle vynálezu je nosné rameno opatřeno držákem kamery, přičemž je pozice držáku na nosném rameni nastavitelná ve vertikálním směru a horizontálním směru. Nastavitelnost držáku ve vertikálním a horizontálním směru umožňuje adaptaci zařízení pro sochy různých velikostí a tvarů. S výhodou může být držák kamery naklápěcí do libovolného směru poloprostoru, aby bylo možné nasměrovat zorné pole kamery do mezer různých tvarů.

25

V jiném výhodném provedení zařízení podle vynálezu je nosné rameno tvořeno robotickou rukou s alespoň šesti stupni volnosti. Robotická ruka může být nákladnější alternativou k nosnému rameni s pohyblivým držákem kamery pro snímání fluorescenčního záření.

30

Rovněž je ve vynálezu výhodné, pokud je unašec prstencového tvaru, přičemž je střed prstence uzpůsobený pro vložení rotačního tomografického stolku s nesenou skenovanou sochou.

35

Je výhodné, pokud jsou vzdálenosti mezi zdrojem rentgenového záření a unašečem a mezi unašečem a detektorem nastavitelné. Tím lze měnit zvětšení zaznamenávaných snímků pro výpočtovou tomografii, a současně lze tím také měnit rozlišení rekonstruovaného modelu.

40

Dále je výhodné, pokud je vzdálenost mezi fluorescenční kamerou a snímaným objektem nastavitelná. Tím lze měnit velikost celé analyzované plochy. Kratší vzdálenost znamená větší prostorové rozlišení, zvyšuje se ale celková doba skenování a naopak.

45

V neposlední řadě může být vynález výhodně proveden tak, že jsou zdroj rentgenového záření, detektor rentgenového záření a unašec s kamerou pro snímání fluorescenčního záření vzájemně od sebe rozebíratelné do alespoň dvou transportních modulů. Mnohdy musejí sochy setrvat na místě jejich vystavení, či se nesmějí vzdálit z určeného pracoviště. Je výhodné, pokud je zařízení podle vynálezu transportovatelné, díky své modulové konstrukci. Zařízení se nerozebírá kompletně na jednotlivé komponenty, které by musel sestavovat na místě specializovaný technik, ale složí se alespoň do dvou pro transport vhodných celků, které dokáže sestavit do funkčního zařízení proškolený laik.

50

Mezi výhody zařízení patří přenositelnost, dále schopnost naskenovat plochy povrchu skenované sochy, které jsou pro standardní bodové fluorescenční zobrazování neanalyzovatelné kvůli zastínění. Kamera pro snímání fluorescenčního záření může být zaměřena na místa, která se jeví jako neanalyzovatelná, přičemž je výhodné, že kamera vytvoří za jednu jednotku pracovního času

55

snímek plochy povrchu pro mapování prvkového složení povrchu skenované sochy, zatímco u ručního skenování s příkládaným ručním analyzátozem je za stejnou jednotku pracovního času naskenováno jen několik bodů stejné plochy. Zařízení zkracuje pracovní čas, a dále díky známému nastavení unašeče a kamery v rámci prostorových souřadnic jsou nasnímané snímky vhodné pro elektronicky zpracovávané mapování získaných dat na povrch sochy, jejíž geometrie je zjištěna rentgenovou výpočetní tomografií.

V neposlední řadě je výhodné, že lze zařízení pro skenování soch podle vynálezu použít také pro analýzu vnitřního materiálového složení skenované sochy založenou na detekci tzv. „K-hran“, které se nacházejí v útlumových křivkách pronikavého záření materiálem. K-hrana je skokovou změnou útlumu pronikavého záření procházejícího materiálem. Podle detekovaných K-hran pro pronikavé záření známých parametrů je možné identifikovat prvkové složení materiálu, kterým pronikavé záření prochází.

Objasnění výkresů

Uvedený vynález bude blíže objasněn na následujících vyobrazeních, kde:

- obr. 1 schematicky znázorňuje pohled shora na řez zařízením při skenování sochy s povrchovou analýzou prvkového složení,
- obr. 2 schematicky znázorňuje pohled shora na řez zařízením při analýze vnitřního složení sochy pomocí monitorování změny průsvitnosti,
- obr. 3 znázorňuje axonometrický pohled na zařízení zachycený zepředu,
- obr. 4 znázorňuje axonometrický pohled na zařízení zachycený zezadu,
- obr. 5 znázorňuje axonometrický pohled na zařízení zachycený shora.

Příklady uskutečnění vynálezu

Rozumí se, že dále popsané a zobrazené konkrétní případy uskutečnění vynálezu jsou představovány pro ilustraci, nikoliv jako omezení vynálezu na uvedené příklady. Odborníci znalí stavu techniky najdou nebo budou schopni zajistit za použití rutinního experimentování větší či menší počet ekvivalentů ke specifickým uskutečněním vynálezu, která jsou zde popsána. I tyto ekvivalenty budou zahrnuty v rozsahu následujících patentových nároků.

Na obr. 1 je schematicky vyobrazen pohled shora na řez zařízením při skenování sochy 3 s povrchovou analýzou prvkového složení. Skenovací pár zdroje 1 a detektoru 4 slouží k pořizování snímků skenované sochy 3 pro rentgenovou výpočetní tomografii. Jak je patrné na obr. 1, tak socha 3 má zákrutu 8. Povrch sochy 3 v této oblasti zákruty 8 nelze prvkově analyzovat standardním fluorescenčním detektorem. Proto je kamera 5 na goniometru tvořícím unašeč 6 zaměřena do zákruty 8, aby získala informaci o prvkovém složení povrchu sochy 3 v oblasti zákruty 8.

Na obr. 2 je schematicky znázorněn pohled shora na řez zařízením při analýze vnitřního složení sochy 3 pomocí monitorování změny průsvitnosti. Kamera 5 se umístí za sochu 3 do osy rentgenového svazku vystupujícího ze zdroje 1 rentgenového záření. Následně je vyzařovaný svazek rentgenového záření modulován a kamerou 5 je snímána změna průsvitnosti. Z naměřených dat týkajících se průsvitnosti jsou vypočteny „K-hrany“, které jsou charakteristické pro různé prvky. Při porovnání naměřených K-hran s tabulkovými údaji je identifikováno vnitřní prvkové složení sochy 3.

Na obr. 3 až obr. 5 je vyobrazen trojrozměrný model zařízení pro skenování soch 3. Na obrázku lze rozpoznat zdroj 1 rentgenového záření, dále stůl 2, na který bylo zařízení rozloženo, skenovanou sochu 3, detektor 4 záření, kameru 5 pro snímání fluorescenčního záření, unašeč 6 a nosné rameno 7. Unašeč 6 je tvořen goniometrem s vnitřní aperturou, zatímco skenovaná socha 3 je postavena do středu goniometru. Na tělese goniometru je uspořádáno nosné rameno 7 s držákem pro kameru 5, přičemž nosné rameno 7 je opatřeno dvojicí polohovacích prostředků pro polohování kamery v horizontálním i vertikálním směru. Navíc držák umožňuje její libovolné naklápění v rámci poloprostoru, jehož dělicí rovina leží v zádech kamery 5. V apertuře goniometru je uspořádán rotační tomografický stolek, na kterém je socha 3 postavena. Celá sestava unašeče 6 s goniometrem, polohovatelným nosným ramenem 7, kamerou 5 a se sochou 3 uspořádanou na rotačním tomografickém stolku, je s výhodou uspořádána na lineárním polohovacím prostředku, který umožňuje translační pohyb (změnu vzdálenosti) mezi sochou 3 a zdrojem 1 rentgenového záření a mezi sochou 3 a detektorem 4 záření. Tímto výhodným uspořádáním lze měnit zvětšení zaznamenávaných snímků pro výpočtovou tomografii, a tím měnit rozlišení rekonstruovaného modelu.

V nevyobrazeném uskutečnění zařízení podle vynálezu může být nosné rameno 7 realizováno jako robotická ruka se šesti stupni volnosti, která umožňuje nasměrování kamery 5 do téměř všech případů zákrut, kapes a zastíněných koutů skenovaných soch 3.

V jiném nevyobrazeném příkladu uskutečnění vynálezu je zařízení rozkládací do třech transportních modulů. Transportní modul zahrnuje zdroj 1 záření, druhý modul zahrnuje detektor 4 a třetí modul zahrnuje unašeč 6 s kamerou 5. Moduly mají formu transportních kufrů, přičemž součásti zařízení jsou ponechány vcelku, aby jejich spojení do zařízení zvládl proškolený laik, např. na pracovní stůl 2 na odborném pracovišti.

Průmyslová využitelnost

Zařízení pro skenování soch podle vynálezu nalezne uplatnění především v archeologickém výzkumu, ve výzkumu dějin umění, a dále v odvětví zabývajícím se restaurací a archivací sochařských děl.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Zařízení pro skenování soch (3) sestávající z alespoň jednoho zdroje (1) rentgenového záření pro ozařování skenované sochy (3) a z alespoň jednoho detektoru (4) pro detekci rentgenového záření vystupujícího ze skenované sochy (3), **vyznačující se tím**, že je opatřeno alespoň jednou kamerou (5) pro snímání fluorescenčního záření vystupujícího z povrchu skenované sochy (3), přičemž kamera (5) pro snímání fluorescenčního záření je uspořádána k unašeči (6) pro její polohování okolo skenované sochy (3).

2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že unašeč (6) je tvořen goniometrem opatřeným nosným ramenem (7) pro upevnění kamery (5) pro snímání fluorescenčního záření.

3. Zařízení podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že nosné rameno (7) je opatřeno držákem kamery (5) pro snímání fluorescenčního záření, přičemž pozice držáku na nosném rameni (7) je nastavitelná ve vertikálním směru a v horizontálním směru.

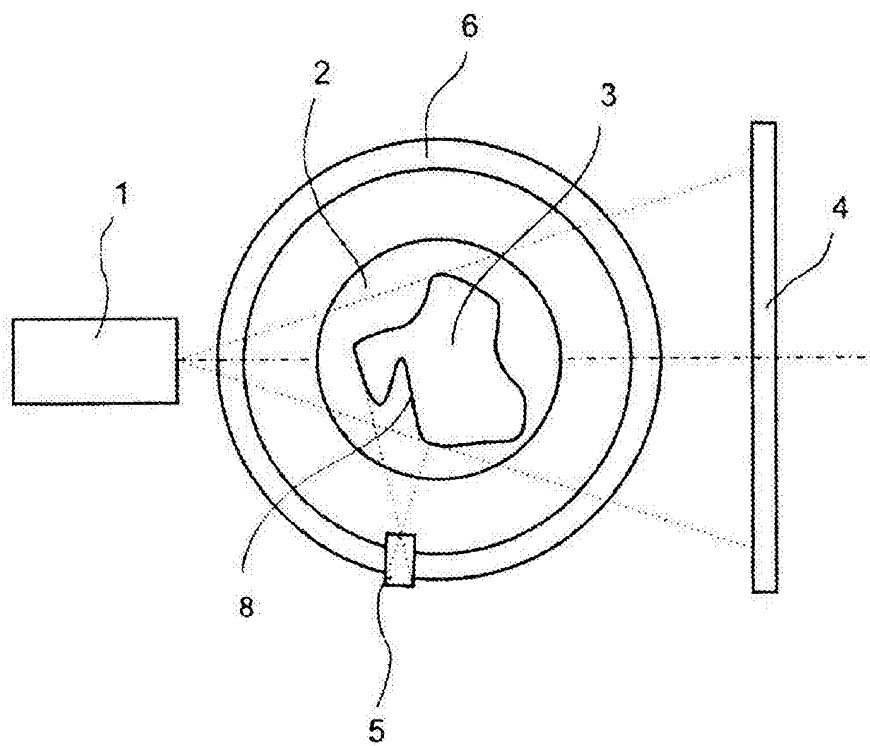
4. Zařízení podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že držák kamery (5) pro snímání fluorescenčního záření je naklápěcí do libovolného směru poloprostoru.

5. Zařízení podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že nosné rameno (7) je tvořeno robotickou rukou s alespoň šesti stupni volnosti.
- 5 6. Zařízení podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že velikost vzdálenosti mezi skenovanou sochou (3) a kamerou (5) pro fluorescenční snímání je nastavitelná.
7. Zařízení podle některého z nároků 1 až 6, **vyznačující se tím**, že unašeč (6) je prstencového tvaru, přičemž střed prstence je tvořen aperturou pro vložení rotačního tomografického stolku s nesenou skenovanou sochou (3).
- 10 8. Zařízení podle některého z nároků 1 až 7, **vyznačující se tím**, že vzdálenosti mezi zdrojem (1) rentgenového záření a unašečem (6) a mezi unašečem (6) a detektorem (4) mají nastavitelnou velikost.
- 15 9. Zařízení podle některého z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že zdroj (1) rentgenového záření, detektor (4) rentgenového záření a unašeč (6) s kamerou (5) pro snímání fluorescenčního záření jsou vzájemně od sebe oddělitelné do alespoň dvou přenosných modulů.

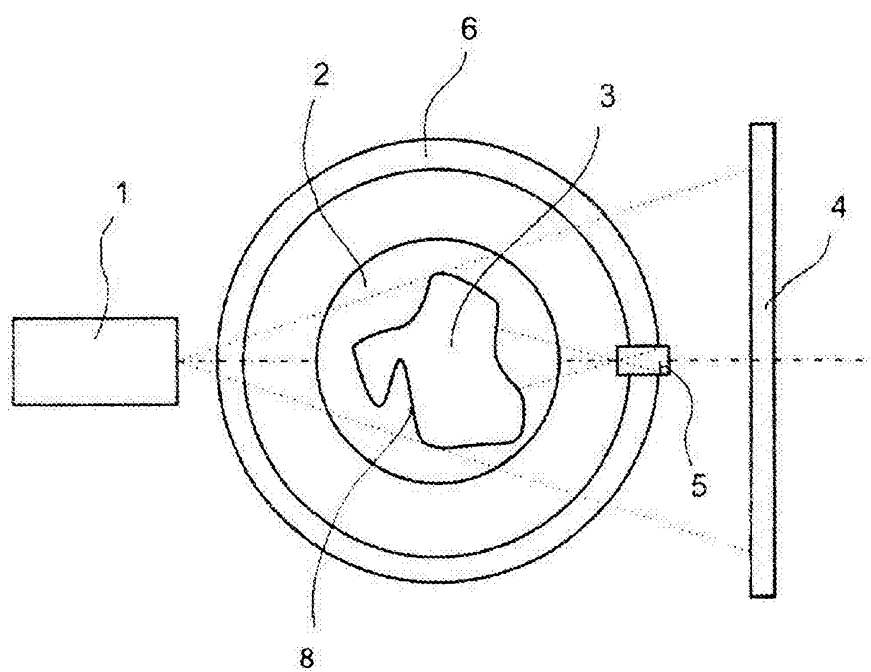
4 výkresy

Seznam vztahových značek

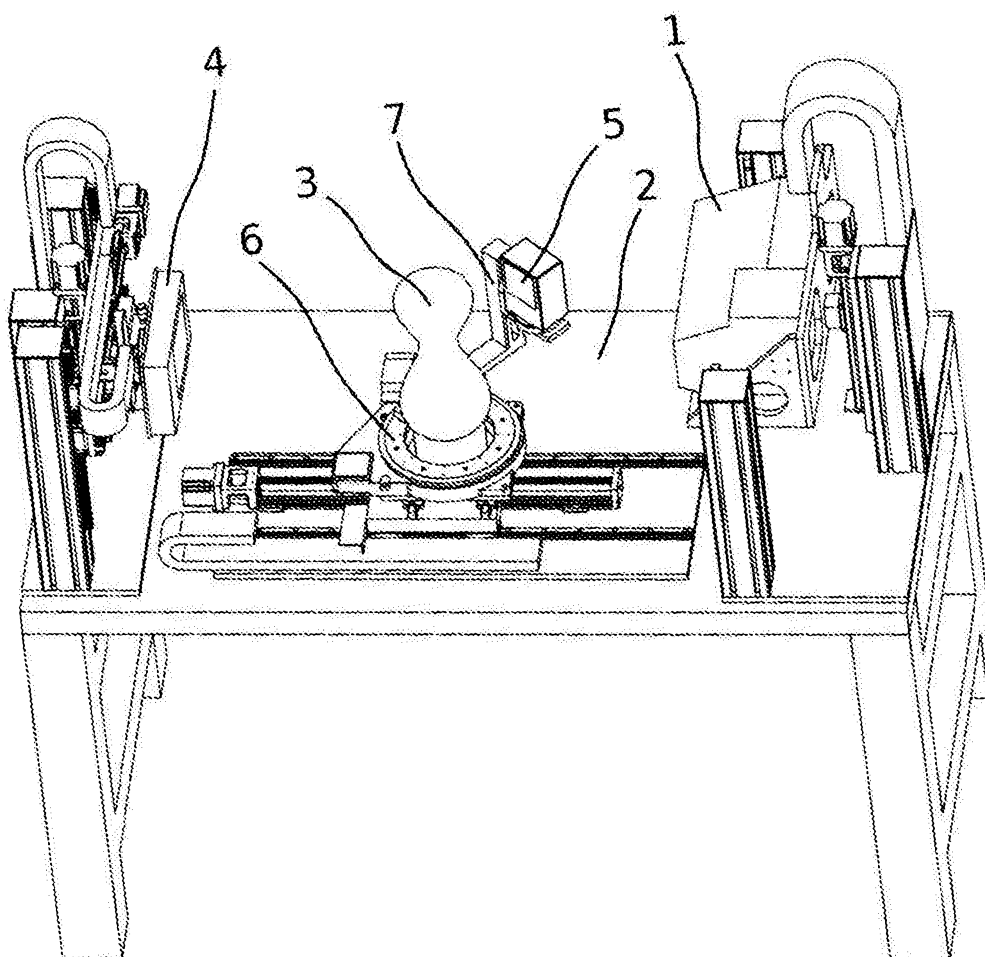
- 1 zdroj rentgenového záření
- 2 stolek
- 3 skenovaná socha
- 4 detektor záření
- 5 kamera pro fluorescenční snímání
- 6 unašeč
- 7 nosné rameno
- 8 zákruta



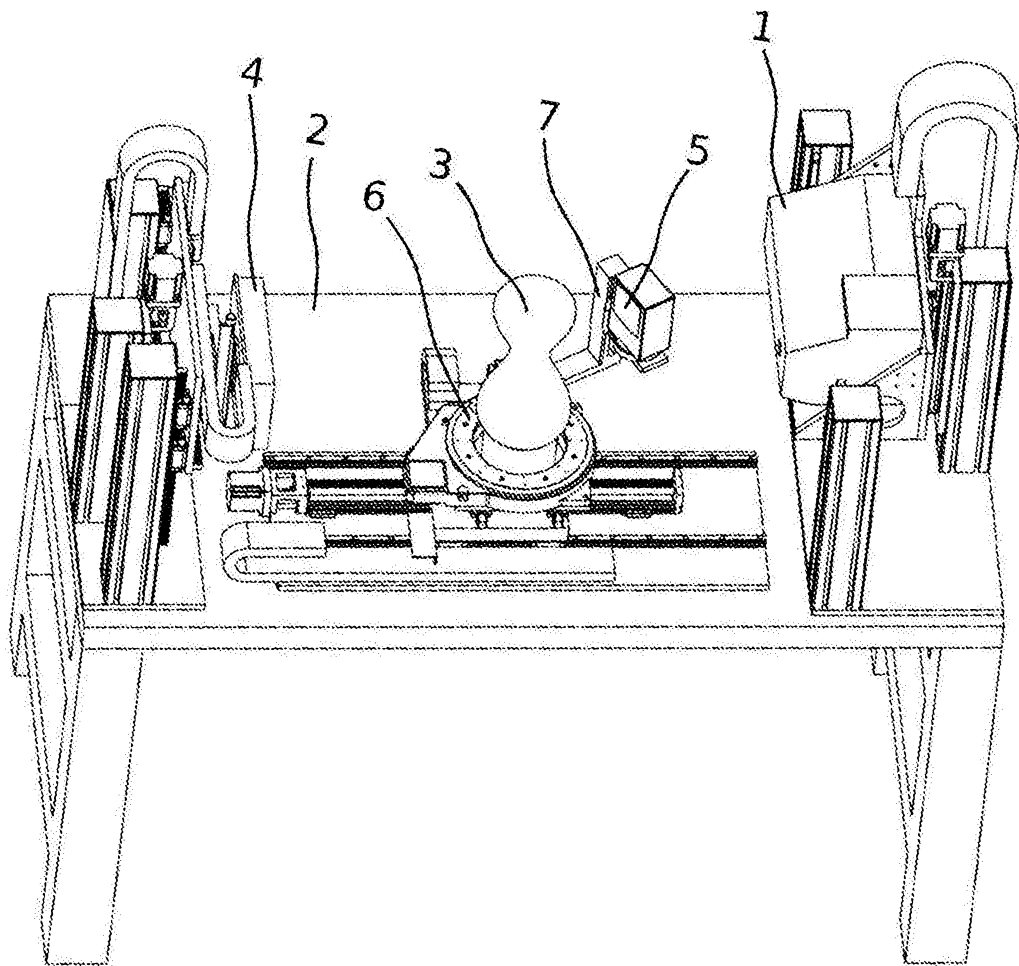
Obr. 1



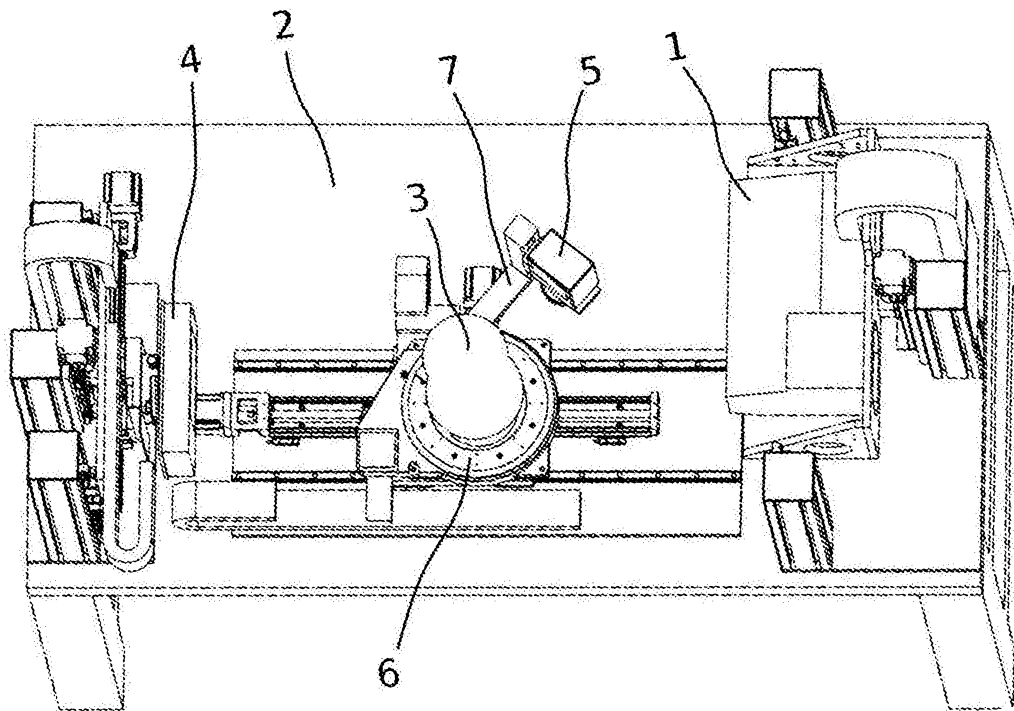
Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5