

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2016-752

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

G06T 15/00 (2011.01)
G01N 21/47 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **30.11.2016**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **28.03.2018**
(Věstník č. 13/2018)

(71) Přihlašovatel:
České vysoké učení technické v Praze, Praha 6, CZ

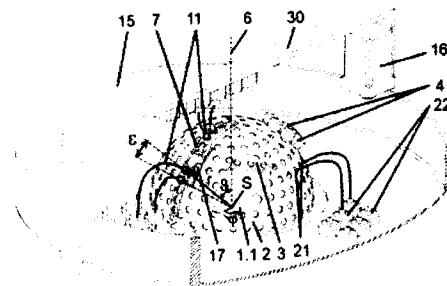
(72) Původce:
doc. Ing. Vlastimil Havran, Ph.D., Praha 4, CZ
doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D., Říčany, CZ
doc. Ing. Jiří Bittner, Praha 9, CZ
Ing. Šárka Němcová, Ph.D., Praha 5, CZ
Ing. Jiří Čáp, Ph.D., Praha 4, CZ

(74) Zástupce:
RNDr. Silvie Dokulilová, Ph.D., Bašného 279/51,
623 00 Brno

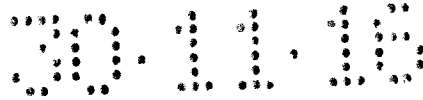
(54) Název přihlášky vynálezu:
Přenosné zařízení pro měření geometrie objektu a prostorově proměnné funkce odrazivosti na povrchu vzorku s multiplikací prvků podílejících se na zobrazování a snímacích systémů na pohyblivých ramenech umožňující terénní měření

(57) Anotace:
Technické řešení se týká přenosného zařízení, které zvyšuje množství zaznamenaných obrazových dat měřeného předmětu v pevné poloze pro získání Bidirectional Texture Function (BTF) dat a vícesměrového snímání reálných objektů využitím základního trojrozměrného objektu (2) osazeného prvními osvětlovači (4) a/nebo výstupními aperturami světlovodného systému (21) v kombinaci s multiplikací prvků (11) podílejících se na zobrazování na snímací systém a/nebo druhých osvětlovačů (9) a/nebo snímacích prvků typu kamera/detektor a/nebo třetích osvětlovačů (12) jejich umístěním na pohyblivá ramena (7, 8, 13) připevněná k základnímu trojrozměrnému objektu (2). Postačuje, když rozsah pohybu ramen (7, 8, 13) odpovídá úhlové rozteči prvků na ramenech. Tím je umožněno rozšíření dostupných kombinací směrů osvětlení a snímání obrazu vzorku. Tento princip je

využitelný i pro rozměrově malá přenosná zařízení a umožňuje významně zkrátit čas nutný pro záznam obrazových dat, dále pak terénní měření vzhledu povrchů bez nutnosti extrahovat vzorek z prostředí.



CZ 2016 - 752 A3



Přenosné zařízení pro měření geometrie objektu a prostorově proměnné funkce odrazivosti na povrchu vzorku s multiplikací prvků podílejících se na zobrazování a snímacích systémů na pohyblivých ramenech umožňující terénní měření

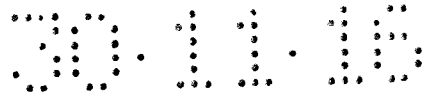
Oblast techniky

Předkládané technické řešení zařízení a jeho měřicí princip lze zařadit do oblasti technické optiky – využívá bezkontaktního optického snímání vzorku s aplikacemi v digitálním průmyslu, počítačovém vidění, kontrole kvality materiálu a ve všech oblastech, kde je potřeba charakterizovat vzhled materiálu, například při zachování kulturního dědictví. Pomocí optického záznamu a rekonstrukce dat z různých typů vzorků lze vytvořit reprezentaci reálného objektu ve 3D virtuální realitě.

Dosavadní stav techniky

Vzhled povrchu objektů reálného světa je tradičně vnímán prostřednictvím obrazů, které se liší v závislosti na směru pozorování, směru osvětlení a spektrálního a prostorového rozložení světla po povrchu objektu dané rozlišením použitých optických systémů, včetně lidského oka. Cílem počítačové grafiky je tvorba virtuálního světa tak, aby bylo dosaženo stejného vzhledu objektu, jako by byl objekt vnímán v reálném světě. Ve virtuální realitě je svět zprostředkován jako 3D objekty pokryté vhodnou reprezentací vzhledu jejich povrchu. Jednou z metod k dosažení vysoké věrnosti vzhledu povrchové struktury je využití metody bidirectional texture function (BTF), česky prostorově proměnné dvousměrové funkce odrazivosti na povrchu vzorku. Tato metoda byla zavedena autorem K. J. Dana s kolektivem v publikaci "Reflectance and Texture of Real-world Surfaces," zveřejněné v roce 1999 ACM Transactions on Graphics, v čísle 1 ročníku 18, na stranách 1⁰²34. Vzhled povrchu objektu je zde zastoupen skupinou tisíců snímků pořízených různou kombinací směru osvětlení a snímání. Snímání BTF dat je typicky časově náročné a trvá až několik hodin nebo dokonce dnů v závislosti na zvoleném směrovém, prostorovém a spektrálním rozlišení jednotlivých snímků BTF funkce.

Problém získání dostatečného množství snímků o různých kombinacích úhlů osvětlení a snímání vzorku za co nejkratší čas je ve světě řešen různými způsoby. Existují například stacionární zařízení, která problém zkrácení času pro získání dostatečného počtu snímků vzorku zkracují použitím multiplikace zdrojů záření osvětlujících vzorek, případně detektorů vzorek snímajících, jak je ukázáno v publikaci G. Müllera s kolektivem "Rapid synchronous acquisition of geometry and BTF for cultural heritage



artefacts," zveřejněné v roce 2005 ve sborníku symposia 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST) na stranách 13^{α2}*20, nebo v publikaci C. Schwartze s kolektivem "Design and Implementation of Practical Bidirectional Texture Function Measurement Devices Focusing on the Developments at the University of Bonn," uveřejněné v roce 2014 v časopise Sensors, číslo 5, ročník 14, strany 7753^{α2}*7819. Taková zařízení jsou však stacionární a velmi mohutná, aby byla zajištěna mechanická stabilita celé jejich konstrukce. Navíc u těchto zařízení existuje pouze konečné množství získatelných kombinací směrů osvětlení a snímání vzorku dané fixními pozicemi zdrojů záření a detektorů. Minimální rozdíl vzájemných směrů osvětlení nebo snímání vzorku je u zařízení s pevným rastrem zdrojů osvětlení a snímačů obrazů dán rozměrem jednotlivých zdrojů osvětlení a snímačů obrazů tak, aby se daly rozmístit vedle sebe na kulové ploše, a zvýšení úhlového rozlišení směrů je možné provést pouze zvětšením poloměru kulové plochy, na které jsou zdroje a snímače obrazů umístěny. To značným způsobem limituje dosahovaná úhlová rozlišení kombinací osvětlení a snímání vzorku pro konstrukci malých, například přenosných zařízení pro BTF měření, u nichž je z užitného hlediska důležitá i nízká hmotnost. Jinou možností je nutnost manipulace se vzorkem, jak je uvedeno v publikaci Ch. Schwartze s kolektivem "Dome II: A Parallelized BTF Acquisition System", zveřejněném v červnu 2013 na workshopu Eurographics Workshop on Material Appearance Modeling: Issues and Acquisition. Takový způsob realizace je zcela nevhodný pro realizaci přenosných zařízení pro měření v terénu, kde vzorek je integrován do svého okolí a jeho extrakcí by došlo k porušení umístění vzorku.

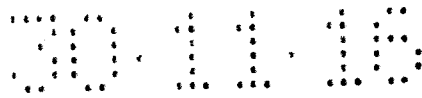
Existují i menší zařízení, jak uvádí například publikace autorů Y. J. Han a K. Perlin, "Measuring bidirectional texture reflectance with a kaleidoscope," zveřejněná v roce 2003 v časopise ACM Transactions on Graphics, číslo 22 (3), strany 741^{α2}*748, nebo publikace J. Filipa s kolektivem "Rapid material appearance acquisition using consumer hardware," zveřejněná v roce 2014 v časopise Sensors, číslo 14(10), strany 19785^{α2}*19805. Nicméně tato řešení mají obvykle malé prostorové rozlišení kombinace úhlu osvětlování a detekce, kdy celkové měření, bez možnosti využití multiplikace získávání snímků, trvá velmi dlouhou dobu nebo v případě optické multiplikace bez pohybu jednotlivých částí zařízení je dosaženo pouze omezeného malého počtu směrů měření.

Nedávno byl v roce 2015 publikován také článek autorů J. Hošek, V. Havran a kolektiv, "Realisation of Circular Motion for Portable BTF Measurement Instrument, v časopise *The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics*, číslo 48, na

stranách ^{až} 252-255, kteří osadili polokulovou plochu s LED diodami ještě nezávisle pohyblivým ramenem s několika kamerami. To sice umožní o něco zmenšit velikost zařízení díky pohyblivosti ramene s kamerami, velikost zařízení je ale stále omezena velikostí kamer. Kombinace směrů osvětlení, které přichází ze zdrojů osvětlení pevně umístěných na polokulové ploše, a směrů snímání jsou v tomto zařízení stále dost omezené, zejména při menších rozměrech celého zařízení, které umožňují osadit na rameno jen malý počet kamer. Tím se pak snižuje dosahované úhlové rozlišení kombinací osvětlení a snímání vzorku.

Podstata vynálezu

Nedostatky v podobě pomalého sběru dat nebo sběru dat s malým počtem kombinací úhlu osvětlování a snímání odstraňuje řešení dle předkládaného vynálezu, který se týká přenosného zařízení pro měření geometrie objektu a prostorově proměnné funkce odrazivosti na povrchu vzorku, v němž je nad měřeným povrchem nepohyblivého vzorku umístěn základní trojrozměrný objekt mající alespoň jednu konkávní stěnu konkávně zakřivenou na straně přivrácené k vzorku. Tato konkávní stěna je osazena prvními osvětlovači vzorku a prochází jí alespoň jeden otvor vedený skrz základní trojrozměrný objekt. Zařízení dále zahrnuje snímací systém obsahující alespoň jednu kameru nebo detektor. Podstata zařízení spočívá v tom, že dále zahrnuje i rám a první motor pro rotační pohon základního trojrozměrného objektu připevněný k tomuto rámu. Základní trojrozměrný objekt je přitom připojen k otočnému dílu s osou otáčení, kde tento otočný díl je buď přímo hřídelem prvního motoru, nebo je k hřídeli prvního motoru připojen prostřednictvím dalších dílů. Osa otáčení otočného dílu přitom prochází alespoň jedním otvorem v konkávní stěně základního trojrozměrného objektu nebo přímo konkávní stěnou základního trojrozměrného objektu. Podstatné je také to, že základnímu trojrozměrnému objektu nebo částem s ním mechanicky pevně spojeným je připevněno alespoň jedno první rameno, které nese alespoň sadu alespoň dvou prvků podílejících se na zobrazení na snímací systém, přičemž toto první rameno je mechanicky propojeno s alespoň jedním druhým motorem připevněným k základnímu trojrozměrnému objektu nebo k dalším dílům s ním mechanicky pevně spojeným pro nezávislý pohon pohybu prvního ramene vůči vztažné soustavě spojené se základním trojrozměrným objektem.



Je výhodné, když optické prvky podílející se na zobrazení na snímací systém nesené prvním ramenem zahrnují objektivy a/nebo zrcátka a/nebo zobrazovací optická vlákna a/nebo optické hranoly.

Je výhodné, když první rameno nese také alespoň dva druhé osvětlovače vzorku a/nebo alespoň dvě výstupní apertury prvního osvětlovacího světlovodného systému.

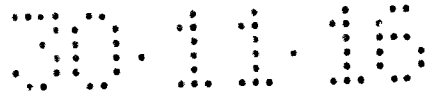
Je rovněž výhodné, když je konkávní stěna osazena výstupními aperturami jednoho nebo více druhých osvětlovacích světlovodných systémů, přičemž tyto druhé osvětlovací světlovodné systémy jsou na svých vstupech připojeny ke čtvrtým osvětlovačům vzorku a/nebo je konkávní stěna osazena jedním nebo více prvními osvětlovači vzorku.

Je rovněž výhodné, když první rameno nese také alespoň dvě kamery a/nebo alespoň dva detektory.

V dalším možném provedení je k základnímu trojrozměrnému objektu nebo součástí s ním pevně spojeným připevněno také alespoň jedno druhé rameno nesoucí sadu alespoň dvou třetích osvětlovačů vzorku. Toto druhé rameno je mechanicky propojeno s alespoň jedním třetím motorem připevněným k základnímu trojrozměrnému objektu nebo k dalším dílům s ním mechanicky pevně spojeným pro nezávislý pohon pohybu druhého ramene vůči vztažné soustavě spojené se základním trojrozměrným objektem.

V jiném výhodném provedení je k základnímu trojrozměrnému objektu nebo součástí s ním pevně mechanicky spojeným připevněno alespoň jedno třetí rameno nesoucí sadu alespoň dvou vzájemně vzdálených snímacích prvků, přičemž tyto snímací prvky zahrnují alespoň jeden detektor a/nebo alespoň jednu kameru. Toto třetí rameno je mechanicky propojeno s alespoň jedním čtvrtým motorem připevněným k základnímu trojrozměrnému objektu nebo k dalším dílům s ním mechanicky pevně spojeným pro nezávislý pohon pohybu třetího ramene vůči vztažné soustavě spojené se základním trojrozměrným objektem.

První osvětlovače vzorku a/nebo čtvrté osvětlovače vzorku jsou s výhodou jednotlivě a/nebo po skupinách elektricky propojeny s řídicí jednotkou pro individuální a/nebo skupinové řízení těchto prvních osvětlovačů a/nebo čtvrtých osvětlovačů. K této řídicí jednotce jsou přitom současně připojeny i kamery a/nebo detektory pro synchronizaci osvětlení se snímáním odraženého světla.



Druhé osvětlovače vzorku jsou rovněž ve výhodném provedení jednotlivě a/nebo po skupinách elektricky propojeny s řídicí jednotkou pro individuální a/nebo skupinové řízení těchto druhých osvětlovačů.

V jiném výhodném provedení jsou třetí osvětlovače vzorku jednotlivě a/nebo po skupinách elektricky propojeny s řídicí jednotkou pro individuální a/nebo skupinové řízení těchto třetích osvětlovačů.

Je výhodné, když první motor a druhý motor jsou elektricky propojeny s řídicí jednotkou pro synchronizaci osvětlení a snímání světla odraženého od vzorku s pohyby základního trojrozměrného objektu a s pohyby prvního ramene.

Je výhodné, když je třetí motor elektricky propojen s řídicí jednotkou pro synchronizaci osvětlení a snímání světla odraženého od vzorku s pohyby základního trojrozměrného objektu a s pohyby druhého ramene.

Výhodné je rovněž provedení, v němž je čtvrtý motor elektricky propojen s řídicí jednotkou pro synchronizaci osvětlení a snímání světla odraženého od vzorku s pohyby základního trojrozměrného objektu a s pohyby třetího ramene.

Podstatnou výhodou předkládaného řešení je, že poskytuje zařízení, které je přenosné, umožňuje terénní měření, a které výrazně zkracuje dobu nezbytnou pro snímání dostatečného množství snímků pro získání obrazu pro různé směry osvětlení a zobrazení vzorku. Díky v zařízení realizovatelným kombinacím směrů osvětlení a snímání, které jsou umožněny multiplikací osvětlovačů, detektorů nebo kamer a prvků podílejících se na zobrazení, a díky možnostem s nimi řízeně pohybovat ve zvolených směrech a rozsazích pohybů, je možné zkrátit čas měření pro záznam daného počtu kombinací směrů osvětlení a snímání vzorku a nebo dosáhnout neomezené, kombinace směrů osvětlení a snímání vzorku. To je dosaženo díky přítomnosti ramen připojených k základnímu trojrozměrnému objektu nebo k dalším částem zařízení s ním mechanicky pevně spojeným, kde tento objekt nese apertury druhých osvětlovacích světlovodných systémů nebo první osvětlovače a kde tato ramena vykonávají i nezávislý pohyb nebo pohyby vůči základnímu trojrozměrnému objektu, a nesou na sobě prvky podílející se za zobrazování a/nebo detektory a/nebo kamery a/nebo další osvětlovače. Tím je dosažena možnost získat úhlovou kombinaci (teoreticky nekonečné množství vzájemně rozdílných snímků) směrů osvětlení a snímání vzorku, a to i pro rozměrově malá zařízení.



Velmi podstatné pro předkládaný vynález je umístění vhodného optického systému nebo jeho části na první pohyblivé rameno. Tento optický systém dokáže realizovat zobrazení i na kamery a detektory umístěné mimo pohyblivé rameno. Tento optický systém přitom zahrnuje alespoň jeden druh prvků podílejících se na zobrazení na snímací systém vybraný ze skupiny (zobrazovací optická vlákna, zrcátka, objektivy, hranoly). Zároveň na pohyblivém rameni jsou fakultativně umístěny druhé osvětlovače a/nebo výstupní apertury prvních osvětlovacích světlovodných systémů. To umožňuje realizovat mnohem menší rozměry základního trojrozměrného objektu neomezené fyzickými rozměry kamer či detektorů, protože ty se s výhodou nacházejí mimo pohyblivé rameno, a/nebo zvýšit počet kombinací úhlů osvětlení a detekce zaznamenávaných v jednom okamžiku, a to také díky použití více apertur prvků podílejících se na zobrazení na snímací systém na prvním rameni, kde tyto prvky mají menší fyzické rozměry, než jsou reálné rozměry detektorů či kamer. Navíc je možné na další pohyblivé rameno umístit další druhé osvětlovače a opět tak zvýšit počet kombinací směrů osvětlování nad hodnotu danou umístěním osvětlovačů na základní trojrozměrný objekt.

Objasnění výkresů

Příklady provedení zařízení jsou uvedeny v příložených obrázcích.

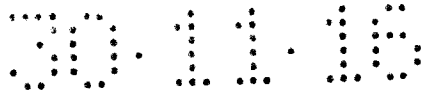
V obr. 1. je znázorněno schéma miniaturního řešení přenosného zařízení pro velmi malé vzorky.

V obr. 2 je zakreslen rozsah pohybu jednoho z ramen.

V obr. 3 je příklad zařízení pro větší měřenou plochou vzorku s většími vzdálenostmi vstupních apertur prvků podílejících se na zobrazení na snímací systém a popř. i apertur kamer a/nebo detektorů od středu vzorku.

V obr. 4 je příklad distribuce prvních osvětlovačů v pravidelném rastru apertur jednotlivých prvků vedoucí k proměnné hustotě apertur po ploše základního trojrozměrného objektu.

V obr. 5 je ukázka jednoho ramene s pravidelnou vzdáleností apertur jednotlivých prvků na rameni a ukázka jednoho ramene s nepravidelnou vzdáleností apertur jednotlivých prvků.



V obr. 6 je fotografie realizovaného zařízení, kde jsou vyznačeny skutečné prvky odpovídající vztahovým značkám schematických obrázků.

V obr. 7 jsou zobrazeny dvě alternativní varianty uspořádání pohybů základního trojrozměrného objektu vůči vzorku.

V některých obrázcích nejsou pro přehlednost čísla od vztahových značek vedena ke všem prvkům stejného typu, protože těchto prvků je často velmi mnoho.

Příklady uskutečnění vynálezu

Níže popsaná provedení ukazují pouze některá z mnoha možných řešení, která spadají do ochrany vynálezu a ilustrují vynálezeckou myšlenku. Jde pouze o vybraná výhodná uspořádání, která nijak neomezují rozsah ochrany vynálezu.

Podstatou předkládaného řešení je přenosné zařízení zkracující dobu nezbytnou pro snímání dostatečného množství snímků s kombinacemi směrů osvětlení a snímání multiplikací zdrojů a detektorů záření s možností dosažení neomezeného počtu, kombinace směrů osvětlení a snímání vzorku. To je dosaženo pohybem jednotlivých částí zařízení, jmenovitě základního trojrozměrného objektu 2 osazeného výstupními aperturami světlovodných systémů 21 a/nebo prvními osvětlovači 4, případně i dalšími prvky, kde tento základní trojrozměrný objekt 2 vykonává rotační pohyb, a pohybem ramen 7, 8 a 13 nesoucích optické prvky 11 podílející se na zobrazování na snímací systém, druhé osvětlovače 9, výstupní apertury prvního osvětlovacího světlovodného systému, třetí osvětlovače 12 nebo i kamery či detektory, kde tato ramena jsou připevněna přímo nebo prostřednictvím dalších dílů k základnímu trojrozměrnému objektu 2 a konají vůči tomuto objektu další nezávislý pohyb nebo kombinaci pohybů. Základní trojrozměrný objekt 2 je přitom umístěn nad měřeným povrchem 1.1 vzorku 1.

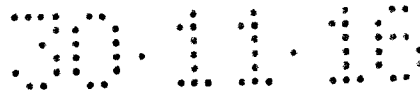
Bližší popis osazení ramen 7, 8 a 13 jim příslušejícími prvky uveden v dalším textu.

Optické prvky 11 podílející se na zobrazování na snímací systém, druhé osvětlovače 9, výstupní apertury prvního osvětlovacího světlovodného systému, třetí osvětlovače 12 a kamery či detektory umístěné na jednotlivých ramenech budeme tam, kde to bude vhodné, pro stručnost nazývat prvky umístěné na ramenech. Minimální nutný rozsah pohybu každého z ramen 7, 8 a 13, který už umožňuje dosáhnout maximálního směrového rozlišení osvětlování a snímání vzorku, je přitom poměrně malý, což je velmi výhodné z hlediska konstrukce zařízení. Například v uspořádání, kdy jsou prvky na

ramenech uspořádány lineárně v jedné řadě, odpovídá postačující minimální rozsah pohybu každého z ramen 7, 8 a 13 vzájemné vzdálenosti dvou sousedních prvků umístěných na daném rameni ve směru daného nezávislého pohybu. Tím je dosažena možnost získat libovolnou úhlovou kombinaci směrů osvětlení a snímání vzorku, teoreticky tedy nekonečné množství vzájemně rozdílných snímků. Uspořádání prvků na ramenech 7, 8 a 13 může být i nepravidelné a/nebo víceřadé, jak bude dále ukázáno v např. v obr. 5b. Princip ale zůstává stejný, rozsah pohybu ramen 7, 8 a 13 pro dosažení maximálního směrového rozlišení musí být u nepravidelného rozmístění prvků na ramenech aspoň takový, aby se při pohybu mezi jednou a druhou krajní polohou rameno posunulo alespoň o vzdálenost odpovídající střední vzdálenosti středů apertur prvků umístěných na rameni ve směru tohoto pohybu.

Základní trojrozměrný objekt 2 vykonávající rotační pohyb má alespoň jednu konkávní stěnu 3, která je při provozu zařízení přivrácena k měřenému povrchu 1.1 vzorku 1. Obvykle má základní trojrozměrný objekt 2 přibližně tvar polokoule či její části, pro funkci zařízení ale není tento konkrétní tvar podmínkou. Základní trojrozměrný objekt 2 přitom rotuje kolem osy 6, která prochází buď alespoň jedním otvorem v konkávní stěně 3 základního trojrozměrného objektu 2, nebo přímo stěnou 3 základního trojrozměrného objektu 2. Ve výhodném provedení je trojrozměrný objekt 2 rotačně symetrický a osa 6 jeho otáčení je totožná s osou jeho rotační symetrie. Je-li vzorek 1 převážně plošný, je osa 6 obvykle také kolmá na měřený povrch 1.1 vzorku 1.

K základnímu trojrozměrnému objektu 2 nebo k částem, které jsou s tímto objektem pevně mechanicky spojeny, je připojeno alespoň jedno první rameno 7 nesoucí alespoň dva, ale s výhodou více prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém. Snímací systém je přitom reprezentován alespoň jednou kamerou a/nebo alespoň jedním detektorem. Prvky snímacího systému mohou být umístěny na rameni 7 nebo i na jiných součástech zařízení, například na součástech pevně spojených s pohybujícím se základním objektem 2 nebo i na základním rámu 30, kdy optické prvky 11 zprostředkovávají přenos obrazu měřeného povrchu na citlivou plochu kamery/detektoru. Jako optické prvky 11 podílející se na zobrazení na snímací systém mohou být na prvním rameni 7 upevněna zrcátka, objektivy, zobrazovací optická vlákna nebo hranoly a dále mohou být na rameni 7 také druhé osvětlovače 9 a/nebo výstupní apertury prvních osvětlovacích světlovodných systémů. Na prvním rameni 7 mohou být optické prvky 11 podílející se na zobrazení na snímací systém pouze jednoho typu, ale rovněž i kombinace těchto prvků různých typů. Tedy například jen samé druhé



osvětlovače 9, nebo v jiném provedení kombinace zrcátek a objektivů, případně kombinace obojího nebo i kombinace jiné. Objektivy umístěné na prvním rameni 7 mohou například zobrazovat měřený povrch 1.1 vzorku 1 na zobrazovací optická vlákna nebo vyvážejí kolimovaný svazek pro další část optické zobrazovací soustavy. Na prvním rameni 7 mohou být kromě optických prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém také kamery či detektory, což může zjednodušit optomechanickou konstrukci celého zařízení.

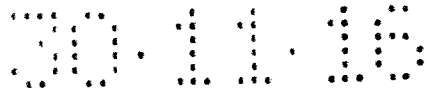
Na dalších součástech pevně spojených s pohybujícím se základním objektem 2 nebo i na základním rámu 30 mohou být také umístěny čtvrté osvětlovače 22, kdy světelný svazek z takto umístěných osvětlovačů na konkávní stěnu 3 přiveden pomocí druhého osvětlovacího světlovodného systému 21, kterým může být vhodný světlovod nebo optická soustava. Toto uspořádání je výhodné, protože při menších rozměrech výstupní apertury osvětlovacího světlovodného systému 21 nabízí větší počet směrů osvětlení vzorku. Počet těchto druhých osvětlovacích světlovodných systémů 21 a počet prvních osvětlovačů 4 je takový, aby ve vzájemné spolupráci zajistily dostatečné osvětlení vzorku z dostatečného množství směrů. Mohou existovat provedení vynálezu, kde budou na konkávní stěně 3 pouze výstupní apertury světlovodných systémů 21, pouze první osvětlovače 4, nebo kombinace těchto dvou prvků.

K základnímu trojrozměrnému objektu 2 nebo k částem, které jsou s tímto objektem mechanicky pevně spojeny, je ve výhodném provedení připojeno také alespoň jedno druhé rameno 8 nesoucí alespoň dva třetí osvětlovače 12, s výhodou však více těchto osvětlovačů 12.

Ve výhodném provedení jsou zdrojem záření prvních osvětlovačů 4, druhých osvětlovačů 9, třetích osvětlovačů 12 i čtvrtých osvětlovačů 22 LED diody, případně mohou být složeny z více LED diod a vhodných osvětlovacích optických soustav.

V dalším výhodném provedení je k trojrozměrnému objektu 2 nebo k částem, které jsou s tímto objektem pevně mechanicky spojeny, připojeno také alespoň jedno třetí rameno 13 nesoucí alespoň dva snímací prvky 14, s výhodou však více těchto snímacích prvků 14, kde snímací prvky 14 zahrnují detektory a/nebo kamery.

V zařízení může být přítomno jedno nebo více ramen typu prvního ramene 7, přičemž tato ramena mohou nést různé typy optických prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém. V zařízení může být přítomno jedno nebo více druhých ramen 8 a třetích ramen 13. Limitujícím faktorem pro počty jednotlivých ramen je vyřešit tvar,

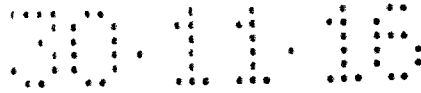


umístění a řízení aktuální polohy jednotlivých ramen tak, aby v prostoru zařízení vzájemně nekolidovala.

Tvar konkávní stěny 3 základního trojrozměrného objektu 2, ke které jsou připevněny osvětlovače 4 nebo výstupní apertury světlovodného systému 21 se nejčastěji blíží části kulové plochy. Tvar ostatních částí základního trojrozměrného objektu 2 může mít libovolný, většinou symetrický, tvar daný způsobem připevnění základního trojrozměrného objektu 2 k ostatním částem zařízení. V našem konkrétním případě má základní trojrozměrný objekt 2 tvar přibližně klobouku typu buřinka. Je výhodné, když je základní trojrozměrný objekt 2, a tedy i konkávní stěna 3, opatřen otvory, které mohou sloužit pro provléknutí a osazení prvních osvětlovačů 4, výstupů druhého osvětlovacího světlovodného systému 21 a případně i dalších prvků pevně připojených k trojrozměrnému objektu 2. Není to ale nutné, všechny tyto prvky mohou být i zevnitř upevněny přímo ke konkávní stěně 3.

První rameno 7, druhé rameno 8 i třetí rameno 13 mají nejčastěji oblý tvar kopírující s mírným odsazením přibližně tvar základního trojrozměrného objektu 2, přičemž plocha těchto ramen přivrácená k základnímu trojrozměrnému objektu 2 je výrazně menší než plocha základního trojrozměrného objektu 2. Má-li základní trojrozměrný objekt 2 tvar části polokoule a osa 6 otáčení je ve výhodném provedení totožná s osou rotační symetrie této polokoule, mají ramena s výhodou přibližně tvar oblouků s podélnou osou ležící v některé z poledníkových rovin, kde poledníkovými rovinami pro účely tohoto textu nazveme roviny, v nichž leží osa 6 otáčení. Přitom poloměr zakřivení ploch těchto ramen je větší, jsou-li ramena 7, 8, 13 vně základního trojrozměrného objektu 2, nebo menší, jsou-li ramena 7, 8, 13 uvnitř základního trojrozměrného objektu 2, než je poloměr zakřivení základního trojrozměrného objektu 2. Ve směru průvodiče r v souřadnicích zobrazených na obrázku 1 mohou mít ramena jednoduchý profil obdélníka, ale pro zvýšení tuhosti ramene je vhodnější použít lépe vyztuženého tvaru například L, U nebo C profilu, ježku nebo podobného dutého profilu. Ve směru kolmém na osu 6 pak ramena mohou mít konstantní šířku profilu po celé své délce, jak je naznačeno na příkladu ramene v obr. 5a, a nebo se jejich šířka může měnit, obvykle zvětšovat směrem od osy 6, jak je naznačeno na příkladu ramene na obrázku 5b.

Optické prvky 11 podílející se na zobrazení na snímací systém, druhé osvětlovače 9, výstupní apertury prvního osvětlovacího světlovodného systému, třetí osvětlovače 12 i snímací prvky 14 mohou být na ramenech uspořádány v jednotlivých řadách v

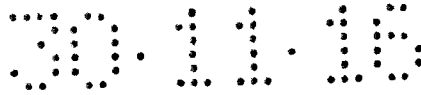


podélném směru, tedy v poledníkových rovinách, nebo i ve vícenásobných řadách odpovídající různým poledníkům, jejich vzdálenosti jsou s výhodou pravidelné, možné je ale i uspořádání nepravidelné, a to jak co do směru, tak do vzdálenosti.

K prvnímu pohybu, kterým je výše zmíněná rotace základního trojrozměrného objektu 2 kolem osy 6 otáčení, se pak přidávají pohyby ramen 7 a/nebo 8 a/nebo 13 vůči vztažné soustavě spojené se základním trojrozměrným objektem 2.

Ve výhodném provedení, kdy má základní trojrozměrný objekt 2 přibližně tvar polokoule, jde o takový pohyb ramen 7, 8, 13, při němž jejich podélná osa koná obecný pohyb v poledníkové rovině trojrozměrného objektu 2.

V jednom výhodném provedení, které je zakresleno na obr. 1, jsou na prvním rameni 7 umístěny alespoň dva optické prvky 11 podílející se na zobrazení na snímací systém, přičemž těmito optickými prvky mohou být kterékoli z prvků ze skupiny (objektivy, zrcátka nebo hranoly části periskopového systému nebo zobrazovací optická vlákna, nebo druhé osvětlovače 9 a/nebo výstupní apertury prvních světlovodných systémů). Konkrétní typy optických prvků 11 nejsou v obrázku podrobněji rozkresleny. Otvory pro osazení prvků 11 mají vzájemnou úhlovou vzdálenost ε . Prvky 11 podílející se na zobrazení na snímací systém zároveň, v jeden okamžik, zobrazují vzorek pod různými zenitovými ϑ úhly. Vzorek je osvětlen jedním nebo více prvními osvětlovači 4 nebo druhými osvětlovači 9 nebo třetími osvětlovači 12 nebo jednou nebo více výstupními aperturami prvních osvětlovacích světlovodných systémů nebo druhých osvětlovacích světlovodných systémů 21 v přednastavených směrech osvětlení. Ve srovnání se situací, kdy jsou první osvětlovače 4 nebo výstupní apertury druhých osvětlovacích světlovodných systému 21 pevně spojeny s rotujícím základním trojrozměrným objektem 2, což umožňuje získání pouze konečného množství diskrétních hodnot kombinace směrů osvětlení a snímání vzorku ϑ , φ , umístění optických prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém na první pohyblivé rameno 7, které vykonává nezávislý pohyb vůči základnímu trojrozměrnému objektu 2, umožňuje díky kombinaci pohybu ramene 7 a základního trojrozměrného objektu 2 doplnit původně fixní množství diskrétních hodnot kombinací směrů snímání a osvětlení vzorku o libovolnou další úhlovou kombinaci a zvýšit tím směrové rozlišení – lze zmenšit hodnoty úhlů $\vartheta_n - \vartheta_m$ a $\varphi_n - \varphi_m$ mezi nejbližšími pozicemi úhlů ϑ_n , φ_n a ϑ_m , φ_m změřených dat na libovolně malou hodnotu. Stejný princip lze využít i v případě osvětlovačů 4 nebo výstupních apertur druhých osvětlovacích světlovodných systémů

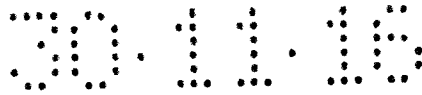


21. Umístění dalších zdrojů světla, jako jsou druhé osvětlovače 9 či výstupní apertury prvních světlovodných systémů na první rameno 7, či třetích osvětlovačů 12 na druhé rameno 8, kde ramena 7, 8 vykonávají vůči základnímu trojrozměrnému objektu 2 nezávislý lineární nebo kruhový pohyb, umožní doplnit diskrétní množství hodnot kombinace směrů osvětlení vzorku o libovolnou další úhlovou kombinaci a zvýšit tím směrové rozlišení získaných dat. Pro dosažení libovolné úhlové kombinace ϑ a φ není nutné realizovat rozsah pohybu jednotlivých ramen v celém prostoru základního třírozměrného objektu 2, ale stačí jej realizovat v rozsahu úhlové vzdálenosti ε mezi jednotlivými optickými prvky 11 podílejícími se na zobrazení na snímací systém nebo analogické úhlové vzdálenosti mezi jednotlivými osvětlovači 12.

Základní trojrozměrný objekt řízeně rotuje okolo osy 6 nad povrchem 1.1 měřeného vzorku 1, přičemž centrální část měřeného povrchu 1.1 je umístěna v místě S, jak je patrné např. z obr. 6. Prvky 11 podílející se na zobrazení na snímací systém, v případě, který teď popisujeme, jsou realizovány zrcátky odrážejícími záření od vzorku na další část optického systému a dále na kamery/a nebo detektory umístěné mimo první rameno 7. Kombinací řízeného pohybu základního trojrozměrného objektu 2 okolo osy 6 a pohybu prvního ramene 7 je možné získat záznam povrchu 1.1 vzorku 1 z libovolného směru pohledu na vzorek 1.

Alternativně lze realizovat i druhé rameno 8, které je obdobným způsobem pohyblivé a slouží pro získání dalších směrů osvětlování vzorku. Jednotlivá ramena 7, 8, 13 mohou vykonávat různé typy pohybů.

Konkrétní příklad zařízení, využívajícího podstatu vynálezu – dvou nezávislých pohybů na straně optických prvků 11 podílejících se na snímací systém, kdy jeden pohyb je realizován základním trojrozměrným objektem 2 ve tvaru části polokoule, a druhý pohyb prvním ramenem 7 pohybujícím se po kruhové, přímkové nebo složitější dráze, je schematicky zobrazen na obrázku 3. Příklad možného pohybu je vyznačen u prvního ramene 7, u druhého ramene 8 a třetího ramene 13. Pro dosažení libovolné kombinace směrů snímání vzorku 1, daného kombinací úhlů ϑ a φ ve zvoleném rozsahu musí zařízení umožnit nastavení pozice alespoň jednoho z optických prvků 11 podílejících se na snímací systém do pozice dané kombinací úhlů ϑ a φ . Rozsah pohybu nastavení směru snímání povrchu 1.1 vzorku 1 ve směru úhlu φ je od 0 do 2π a v tomto úhlu je možné dosáhnout libovolné hodnoty. Pro dosažení libovolné kombinace směru snímání vzorku 1, ve směru úhlu ϑ v rozsahu úhlů $0 - \vartheta_{\max}$ bude rozsah složky pohybu



libovolného pohybu ramene 7 ve směru úhlu ϑ roven alespoň úhlové vzdálenosti ε mezi dvěma sousedními optickými prvky 11 podílejícími se na zobrazení na snímací systém měřené v rovině procházející osou 6. V takovém případě se dva sousední optické prvky 11 podílející se na zobrazení na snímací systém dostanou, s případným využitím i rotace okolo osy 6 ve směru úhlu ϑ , do stejné úhlové pozice ϑ a φ vůči vzorku 1. Rozsah pohybu ramene 7 může být i menší. Je však vhodné dosáhnout redundance nastavení směrů snímání a tedy realizovat rozsah pohybu ramene 7 ve směru úhlu ϑ alespoň v rozsahu úhlové vzdálenosti ε .

Pohyby realizované jednotlivými rameny 7, 8, 13 jsou zpravidla jednoduché rotační (kruhové vedení ramene 7 na obrázku 1) nebo lineární pohyby, případně jejich kombinace generující obecný pohyb ramene v rovině (pohyb ramene 7 na obrázku 3) nebo v prostoru (pohyb ramene 8 na obrázku 3). Pohyby jednotlivých ramen 7, 8 a 13 jsou realizované alespoň jedním druhým motorem 17, alespoň jedním třetím motorem 18 a alespoň jedním čtvrtým motorem 19, řízeny řídicí jednotkou 20 a synchronizovány s řízením prvních osvětlovačů vzorku 4, nebo druhých osvětlovačů 9 nebo třetích osvětlovačů 12 nebo čtvrtých osvětlovačů 22 a snímáním dat ze snímacích prvků 14.

Jednotlivá ramena 7, 8 a 13 mohou být v případě složitějších pohybů, jakým je např. pohyb druhého ramene 8 v obr. 3, poháněna i více motory. V obr. 3. je u ramene 8 viditelný jen jeden z třetích motorů 18, ve skutečnosti jsou ale pro uvedený pohyb nutné dva třetí motory 18, druhý z nich v obrázku není vidět.

Vhodným pohybem druhého ramene 8 v kombinaci s pohyby prvního ramene 7 a pohybem základního trojrozměrného objektu 2 okolo osy 6 lze získat nové kombinace směrů osvětlení a snímání vzorku 1. Pokud je na zařízení více prvních ramen 7, pak jejich použitím je možné získat stejný soubor měřených dat v kratším čase měření. Pokud třetí rameno 13 obsahuje jiné typy snímacích prvků 14 než běžné kamery či detektory, pak je možné o vzorku získat další data, např. spektrální funkce odrazivosti povrchu. Může se jednat i o drobnou změnu, například jiná vlnová délka použitého hradičového filtru, kdy snímací systém může být stejný, jako v případě ramene 7, ale dojde ke změně v zobrazovací soustavě na snímací systém.

V základní konfiguraci zařízení, která je vyznačena na obr. 1, 2, 3, 4, je osa 6 kolmá na rovinu proloženou povrchem vzorku. Proto je zařízení vybaveno pevnou kamerou neumístěnou na pohyblivých ramenech a vždy zprostředkující pohled na vzorek ve

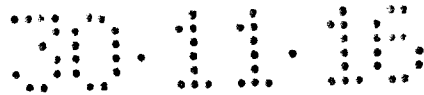


směru osy 6. Tato kamera, například s použitím autokolimačního principu, je využita k seřizování celého přenosného zařízení vůči pevné poloze vzorku.

Alternativní variantou zařízení je konfigurace z obr. 7 vpravo, kdy osa 6 není kolmá na rovinu povrchu vzorku 1. V takovém případě základní trojrozměrný objekt 2 nebude vykonávat pouhou rotaci okolo jedné osy 6, ale bude vykonávat precesní pohyb okolo dvou os, které se protínají na povrchu měřeného vzorku 1. Výhodou takového řešení je možnost zmenšení velikosti základního trojrozměrného objektu 2 z přibližného tvaru polokoule na tvar části kulové úseče dané úhlem ω , který svírají obě precesní osy, a tím snížit hmotnost zařízení při zachování možnosti snímání všech kombinací směrů snímání a osvětlování vzorku 1.

Jinou alternativní variantou zařízení je konfigurace z obr. 7 vlevo, kdy základní trojrozměrný objekt 2 rotuje nejen okolo osy 6, ale okolo dvou rovnoběžných os, kolmých na vzorek, a vykonává tak planetární pohyb nad rovinou povrchu vzorku 1. Výhodou tohoto řešení je kromě zvýšení počtu kombinací směrů snímání a osvětlování vzorku 1 i možnost snímat větší část povrchu vzorku i v případě miniaturizované verze zařízení s malými poloměry křivosti základního trojrozměrného objektu 2. Řídící jednotkou zařízení může být jakýkoliv počítačový systém, vybavený odpovídajícím SW a HW pro snímání dat z detektorů a kamer, rozsvěcování a zhasínání osvětlovačů a realizaci pohybů jednotlivých pohonů. Z praktických důvodů je vhodné počítačový systém rozdělit mezi základní průmyslový počítač a několik mikropočítačů ovládajících jednotlivé funkční prvky a vzájemně spolu komunikující vhodným komunikačním protokolem. V námi realizovaném prototypu zařízení na obrázku 6 tak pro řízení používáme kromě průmyslového počítače také 145 mikropočítačů. Změřená data ze zařízení se zpracovávají během měření anebo v režimu postprocessingu po ukončení měření.

V obr. 1 je znázorněn vzorek 1, základní trojrozměrný objekt 2, konkávní stěna 3 objektu 2 přivrácená ke vzorku 1, otočný díl 15 s osou otáčení 6, první motor 16 polohující základní trojrozměrný objekt 2 spojený s rámem přístroje 30, a pohyblivé rameno 7 s pozicemi pro osazení optických prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém. Těmito optickými prvky 11 podílejícími se na zobrazení na snímací systém jsou obvykle objektivy, případně další optické prvky, jako například zobrazovací optická vlákna, optické prvky periskopického systému, jako zrcadla či hranoly, které zprostředkovávají zobrazení na snímací systém. Tím jsou obvykle kamery nebo jiné



detektory záření, které mohou být umístěny na rámu přístroje 30, na součástech pevně mechanicky spojených se základním trojrozměrným objektem 2 nebo i na pohyblivém rameni 7, mechanicky připojeném k druhému motoru 17 a jím ~~h~~ poháněném. Vhodnost výběru některého z těchto umístění souvisí s poměrem velikostí základního trojrozměrného objektu 2, úhlovou vzdáleností středů apertur prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém a příčným rozměru detektoru. Pokud se při daném rozměru základního trojrozměrného objektu 2 na rameno 7 vejde požadovaný počet apertur optických prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém, pak vhodným řešením je umístit snímací prvek také na rameno 7. Pokud tato podmínka splněná není, pak je vhodné na rameno 7 umístit pouze optické prvky 11 podílející se na zobrazení na snímací systém (např. mikroobjektiv s zobrazovacím optickým vláknem) s podstatně menšími příčnými rozměry a vlastní detektory/kamery umístit mimo pohyblivé rameno 7. Stejná podmínka platí i pro první osvětlovače 4. Pokud rozměry základního trojrozměrného objektu 2 nedovolují umístit první osvětlovače 4, vzhledem k jejich velkým příčným rozměrům, do požadovaně malých vzájemných vzdáleností přímo na základní trojrozměrný objekt 2, pak výhodné řešení je umístit čtvrté osvětlovače 22 mimo základní trojrozměrný objekt 2 a do pozic na konkávní ploše 3 přivést pouze svazky záření, například pomocí vhodných světlovodů druhého osvětlovacího světlovodného systému 21. I pro malé zařízení tak lze získat teoreticky nekonečné množství vzájemně rozdílných snímků vzniklých při různých kombinacích směrů osvětlení a směrů snímání vzorku.

Motory 17, 18 a 19 jsou přitom přímo nebo prostřednictvím dalších dílů mechanicky spojeny se základním trojrozměrným objektem 2. První motor 16 je na rozdíl od nich mechanicky připojen přímo nebo prostřednictvím dalších dílů k rámu 30, aby mohl vůči tomuto rámu 30 otáčet základním trojrozměrným objektem 2.

Ramena 7, 8 a 13 mohou být k základnímu trojrozměrnému objektu také připojena buď přímo, nebo prostřednictvím dalších dílů.

V obr. 1 není pro jednoduchost znázorněno propojení mezi otočným dílem 15 a základním trojrozměrným objektem 2, které může být realizováno mnoha způsoby.

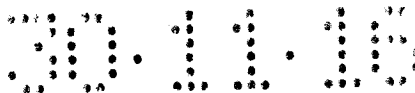
V obr. 2 je znázorněna ukázka dvou krajních poloh ramene 7, kdy délka pohybu mezi těmito krajními polohami je delší než vzdálenosti středů vstupních apertur optických prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém ve směru pohybu ramene.



V obr. 3 je uveden příklad řešení zařízení při větší vzdálenosti optických prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém od bodu S na povrchu 1.1. V obrázku je znázorněn vzorek 1, jeho měřený povrch 1.1, základní trojrozměrný objekt 2, konkávní stěna 3 základního trojrozměrného objektu 2, která je konkávní směrem ke vzorku 1, otočný díl 15 s osou 6 otáčení. První motor 16 spojený s rámem přístroje 30 otáčí základní trojrozměrný objekt 2 kolem osy 6. V obrázku je také první rameno 7, které je pohyblivé a jsou na něm vidět pozice pro osazení optických prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém. Těmito prvky jsou obvykle objektivy, případně další optické prvky, jako například zobrazovací optická vlákna, optické prvky periskopického systému, jako zrcadla či hranoly, které zprostředkovávají zobrazení na snímací systém. Tím jsou obvykle kamery nebo jiné detektory záření, které v těchto rozměrech mohou být umístěny na pohyblivém rameni 7 spolu s prvky 11 podílejícími se za zobrazení na snímací systém.

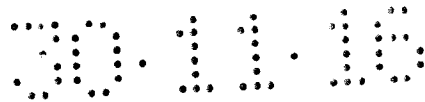
Tato základní konfigurace může být doplněna druhým ramenem 8 s pozicemi pro umístění třetích osvětlovačů 12, které je mechanicky připojeno k třetímu motoru 18, kterým je poháněno. Vhodným nastavením polohy tohoto ramene 8 v kombinaci s nastavením polohy ramene 7 a nastavením polohy okolo osy 6 lze získat nové kombinace směrů osvětlení a snímání vzorku 1. Dále může být doplněna základní konfigurace třetím ramenem 13 se snímacími prvky 14, které je přímo nebo prostřednictvím dalších dílů mechanicky připojeno ke čtvrtému motoru 19, který nastavuje jeho polohu. Vhodným nastavením polohy tohoto třetího ramene 13 v kombinaci s nastavením polohy ramen 7 a 8 a nastavením polohy okolo osy 6 lze získat nové kombinace směrů osvětlení a snímání vzorku 1.

Upevnění motorů 16, 17, 18, 19 a ramen 7, 8, 13 v obr. 3 je analogické tomu, které je popsáno u obr. 1. Na obr. 4 vlevo je ukázka distribuce prvních osvětlovačů 4 v pravidelném rastru apertur jednotlivých prvků vedoucí k proměnné hustotě apertur po ploše základního trojrozměrného objektu 2. Ukázka distribuce prvních osvětlovačů 4 s nepravidelnou vzdáleností apertur $L \pm dL$ jednotlivých prvků vedoucí k téměř konstantní plošné hustotě apertur na povrchu základního trojrozměrného objektu 2 je v pravé části obr. 4. Použití nepravidelné distribuce prvků se s výhodou používá pro potlačení interference mezi rastrem prvků, například prvních osvětlovačů 4, a rastrem pozic měřených dat.



Na obrázku 5 vlevo je ukázka typického provedení ramene, které může být použito pro kterékoli z ramen ~~7, 8, 13~~ s pravidelnou vzdáleností pozic apertur jednotlivých optických prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém, druhých osvětlovačů 9 nebo výstupních apertur prvního osvětlovacího světlovodného systému na rameni. Na obrázku 5 vpravo je ukázka jiného typického ramene, které může být použito pro kterékoli z ramen ~~7, 8, 13~~ s nepravidelnou vzdáleností apertur jednotlivých optických prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém druhých osvětlovačů 9 nebo výstupních apertur prvního osvětlovacího světlovodného systému. Výhodou pravidelného rozmístění apertur po rameni je jednoduchá výroba i realizace měření. Nevýhodou je nižší hustota měřených dat pro větší hodnoty úhly θ od osy rotace 6, jak je názorně vidět na obrázku 4 vlevo. Tuto skutečnost lze kompenzovat umístěním většího počtu apertur prvků pod většími úhly θ , jak je vidět na příkladu ramene s nerovnoměrným uspořádáním apertur. Na obrázku 5 vpravo je příklad současného umístění apertur druhých osvětlovačů 9 na pohyblivé rameno spolu s aperturami optických prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém. Viditelné otvory představují volné pozice pro umístění druhých osvětlovačů 9 nebo výstupních apertur prvního osvětlovacího světlovodného systému. Toto rozmístění je výhodné v případě, že pokud je rameno připevněno k základnímu trojrozměrnému objektu 2 zevně, musí být v základním trojrozměrném objektu 2 podélný otvor podél osy ramene a v oblasti tohoto otvoru nemohou být umístěny první osvětlovače 4. Pokud je rameno upevněno z vnitřní strany základního trojrozměrného objektu 2, jak je vidět na příkladu druhého ramene 8 v obr. 3, pak toto rameno zakrývá část prvních osvětlovačů 4. Obdobné umístění jako druhé rameno 8 v obrázku 3 může mít i první rameno 7. V obou případech umístění prvního ramena 7 by v datech chyběla měření vzorku při jeho osvětlení ze směrů v blízkosti apertur prvků 11 podílejících se na zobrazení na snímací systém, protože v těchto směrech chybí první osvětlovače 4. Proto je výhodné umístit na první rameno 7 také druhé osvětlovače 9 nebo alespoň výstupní apertury jejich svazků ze světelného systému 21.

Na obrázku 6 je fotografie realizovaného zařízení, kde jsou vyznačeny skutečné prvky odpovídající vztahovým značkám schematických obrázků. Základní trojrozměrný objekt 2, a jeho konkávní stěna 3, konkávně zakřivená na straně přivrácené ke vzorku 1, první osvětlovače 4, osa otáčení 6, první rameno 7, prvky 11 podílející se na zobrazení na



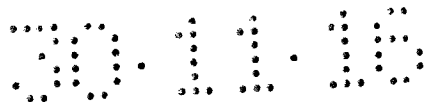
snímací systém, S - místo průsečíku osy $\underline{6}$ otáčení s předpokládaným povrchem 1.1 vzorku 1.

Na obrázku 7 jsou zobrazeny dvě alternativní varianty uspořádání pohybů základního trojrozměrného tělesa 2 vůči vzorku 1, kdy základní trojrozměrné těleso 2 koná složený pohyb. Na obrázku vlevo je příklad planetárního pohybu základního trojrozměrného tělesa 2, kdy dochází k rotaci nejen okolo osy $\underline{6}$ kolmé na vzorek 1, ale tato osa se dále otáčí okolo jiné osy rovnoběžné s osou $\underline{6}$ ve vzdálenosti e . Na obrázku vpravo je příklad precesního pohybu základního trojrozměrného tělesa 2, kdy dochází k rotaci nejen okolo osy $\underline{6}$, ale ta se dále otáčí okolo jiné osy, která s ní svírá úhel ω a jejich průsečík se nachází na povrchu vzorku 1.

Zařízení podle předkládaného řešení lze realizovat s rozměry a hmotností, které umožňují jeho snadnou přenosnost a terénní použití. Dvě z realizovaných variant mají vstupní apertury optických prvků podílejících se na zobrazení na snímací systém 11 umístěné v prvním případě ve vzdálenosti cca 250 mm středu od vzorku 1, v druhém případě ve vzdálenosti 160 mm od středu vzorku. Tyto varianty jsou realizovány v provedení dle obr. 3. Při vzdálenosti apertur optických prvků podílejících se na zobrazení na snímací systém 11 ve vzdálenosti 100 mm a menší se používá varianta dle obr. 1. Největší z uvedených provedení zařízení má celkovou hmotnost cca 12 kg, u menších variant je hmotnost podstatně nižší.

Průmyslová využitelnost

Přenosné zařízení využívající uvedeného principu pro získání mezilehlých poloh mezi úhlovou kombinací směrů snímání nebo osvětlení vzorku vzájemně zafixovanými osvětlovači nebo detektory má průmyslové využití jako snímací zařízení pro aplikace počítačové grafiky v rámci 3D modelování a prezentace objektů, kontrole kvality povrchu nahrazující vizuální testy sledování povrchů při různých směrech osvětlení a pozorování a v dalších oblastech, kde mohou být výše uvedené vlastnosti využity, například, kde je potřeba charakterizovat a uchovat vzhled materiálu, například v oblasti zachovávání kulturního dědictví. Hlavní výhodou předkládaného vynálezového řešení oproti jiným stávajícím metodám získávání BTF dat stacionárního měřeného vzorku je zkrácení doby snímání požadovaného množství kombinací úhlů osvětlení a snímání vzorku multiplikací směrů osvětlení a směrů snímání světla odraženého od vzorku a



hlavně možnost realizovat přenosný měřicí přístroj pro snímání vzhledu povrchu vzorku umožňující terénní měření vzorků přímo na místě.

Využití uvedeného postupu lze nalézt v oboru počítačové grafiky, optického záznamu a rekonstrukce dat různých typů vzorků, kde lze uplatnit reprezentaci reálného objektu ve 3D virtuální realitě, včetně například archeologie, biologie, umění, 3D TV, vyhodnocování kvality povrchu a jeho úprav, rozpoznávání a klasifikace materiálu v počítačovém vidění i v jiných aplikacích.

Seznam vztahových značek:

1 – vzorek

1.1 – povrch vzorku

2 – základní trojrozměrný objekt,

3 – konkávní stěna (základního trojrozměrného objektu 2 konkávně zakřivená na straně přivrácené k vzorku 1)

4 – první osvětlovače

6 – osa otáčení (otočného dílu 15 a základního trojrozměrného objektu 2)

7 – první rameno

8 – druhé rameno

9 – druhé osvětlovače

11 – optické prvky podílející se na zobrazení na snímací systém

12 – třetí osvětlovače

13 – třetí rameno

14 – snímací prvky

15 – otočný díl

16 – první motor

17 – druhý motor

18 – třetí motor

19 – čtvrtý motor

20 – řídicí jednotka

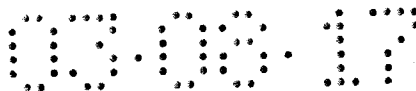
21 – druhý osvětlovací světlovodný systém

22 – čtvrté osvětlovače vzorku

30 – rám

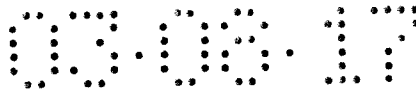
~~185~~

21

~~PV 2016 752~~

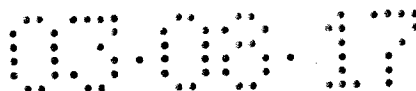
PATENTOVÉ NÁROKY

1. Zařízení pro měření geometrie objektu a prostorově proměnné funkce odrazivosti na povrchu vzorku, v němž je nad měřeným povrchem (1.1) vzorku (1) umístěn základní trojrozměrný objekt (2) mající alespoň jednu konkávní stěnu (3) konkávně zakřivenou na straně přivrácené k vzorku (1), kde zařízení dále zahrnuje snímací systém obsahující alespoň jednu kameru nebo detektor, **vyznačující se tím**, že dále zahrnuje i rám (30) a první motor (16) pro rotační pohon základního trojrozměrného objektu (2) připevněný k tomuto rámu (30), přičemž základní trojrozměrný objekt (2) je připojen k otočnému dílu (15) s osou (6) otáčení, kde tento otočný díl (15) je buď přímo hřídelem prvního motoru (16), nebo je k hřídeli prvního motoru (16) připojen prostřednictvím dalších dílů, přičemž osa (6) otáčení otočného dílu (15) prochází konkávní stěnou (3) základního trojrozměrného objektu (2) nebo otvorem v této konkávní stěně (3) vytvořeným, a že k základnímu trojrozměrnému objektu (2) nebo k dalším dílům s ním mechanicky pevně spojeným je připevněno alespoň jedno první rameno (7), které nese sadu alespoň dvou optických prvků (11) podílejících se na zobrazení na snímací systém, přičemž toto první rameno (7) je mechanicky propojeno s alespoň jedním druhým motorem (17) připevněným k základnímu trojrozměrnému objektu (2) nebo k dalším dílům s ním mechanicky pevně spojeným pro nezávislý pohon pohybu prvního ramene (7) vůči vztažné soustavě spojené se základním trojrozměrným objektem (2).
2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že optické prvky (11) podílející se na zobrazení na snímací systém zahrnují objektivy a/nebo zrcátka a/nebo zobrazovací optická vlákna a/nebo optické hranoly.
3. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že první rameno (7) nese také alespoň dva druhé osvětlovače (9) vzorku (1) a/nebo alespoň dvě výstupní apertury prvního osvětlovacího světlovodného systému.
4. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že konkávní stěna (3) je osazena výstupními aperturami jednoho nebo více druhých osvětlovacích světlovodných systémů (21), přičemž tyto druhé osvětlovací světlovodné systémy jsou na svých vstupech připojeny ke čtvrtým osvětlovačům (22) vzorku (1) a/nebo je konkávní stěna (3) osazena jedním nebo více prvními osvětlovači (4) vzorku (1).
5. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že první rameno (7) nese také alespoň dvě kamery a/nebo alespoň dva detektory.
6. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že k základnímu trojrozměrnému objektu (2) nebo k dalším dílům s ním mechanicky pevně spojeným je



přípevněno alespoň jedno druhé rameno (8) nesoucí sadu alespoň dvou třetích osvětlovačů (12) vzorku (1), přičemž toto druhé rameno (8) je mechanicky propojeno s alespoň jedním třetím motorem (18) přípevněným k základnímu trojrozměrnému objektu (2) nebo k dalším dílům s ním mechanicky pevně spojeným pro nezávislý pohon pohybu druhého ramene (8) vůči vztažné soustavě spojené s^e základní^m trojrozměrným objektem (2).

7. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 1 až 6, **vyznačující se tím**, že k základnímu trojrozměrnému objektu (2) nebo k dalším dílům s ním mechanicky pevně spojeným je přípevněno alespoň jedno třetí rameno (13) nesoucí sadu alespoň dvou vzájemně vzdálených snímacích prvků (14), přičemž tyto snímací prvky (14) zahrnují alespoň jeden detektor a/nebo alespoň jednu kameru, a přičemž toto třetí rameno (13) je mechanicky propojeno s alespoň jedním čtvrtým motorem (19) přípevněným k základnímu trojrozměrnému objektu (2) nebo k dalším dílům s ním mechanicky pevně spojeným pro nezávislý pohon pohybu třetího ramene (13) vůči vztažné soustavě spojené s^e základní^m trojrozměrným objektem (2).
8. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 4 až 7, **vyznačující se tím**, že první osvětlovače (4) vzorku (1) a/nebo čtvrté osvětlovače (22) vzorku (1) jsou jednotlivě a/nebo po skupinách elektricky propojeny s řídicí jednotkou (20) pro individuální a/nebo skupinové řízení těchto prvních osvětlovačů (4) a/nebo čtvrtých osvětlovačů (22), kde k této řídicí jednotce (20) jsou současně připojeny i kamery a/nebo detektory pro synchronizaci osvětlení se snímáním odraženého světla.
9. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 3 až 8, **vyznačující se tím**, že druhé osvětlovače (9) vzorku (1) jsou jednotlivě a/nebo po skupinách elektricky propojeny s řídicí jednotkou (20) pro individuální a/nebo skupinové řízení těchto druhých osvětlovačů (9).
10. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 6 až 9, **vyznačující se tím**, že třetí osvětlovače (12) vzorku (1) jsou jednotlivě a/nebo po skupinách elektricky propojeny s řídicí jednotkou (20) pro individuální a/nebo skupinové řízení těchto třetích osvětlovačů (12).
11. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 1 až 10, **vyznačující se tím**, že první motor (16) a druhý motor (17) jsou elektricky propojeny s řídicí jednotkou (20) pro synchronizaci osvětlení a snímání světla odraženého od vzorku (1) s pohyby základního trojrozměrného objektu (2) a s pohyby prvního ramene (7).
12. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 6 až 11, **vyznačující se tím**, že třetí motor (18) je elektricky propojen s řídicí jednotkou (20) pro synchronizaci osvětlení a snímání světla



odraženého od vzorku (1) s pohyby základního trojrozměrného objektu (2) a s pohyby druhého ramene (8).

13. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 7 až 12, **vyznačující se tím**, že čtvrtý motor (19) je elektricky propojen s řídicí jednotkou (20) pro synchronizaci osvětlení a snímání světla odraženého od vzorku (1) s pohyby základního trojrozměrného objektu (2) a s pohyby třetího ramene (13).

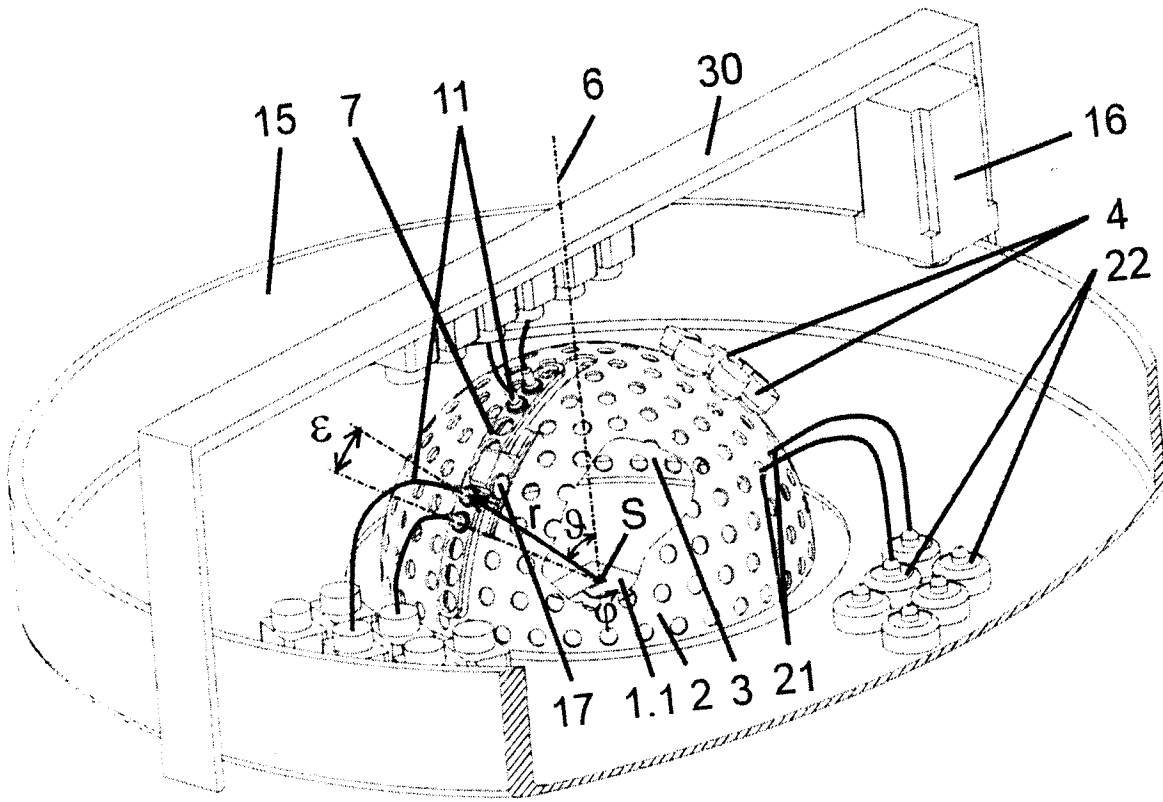
1234

30110

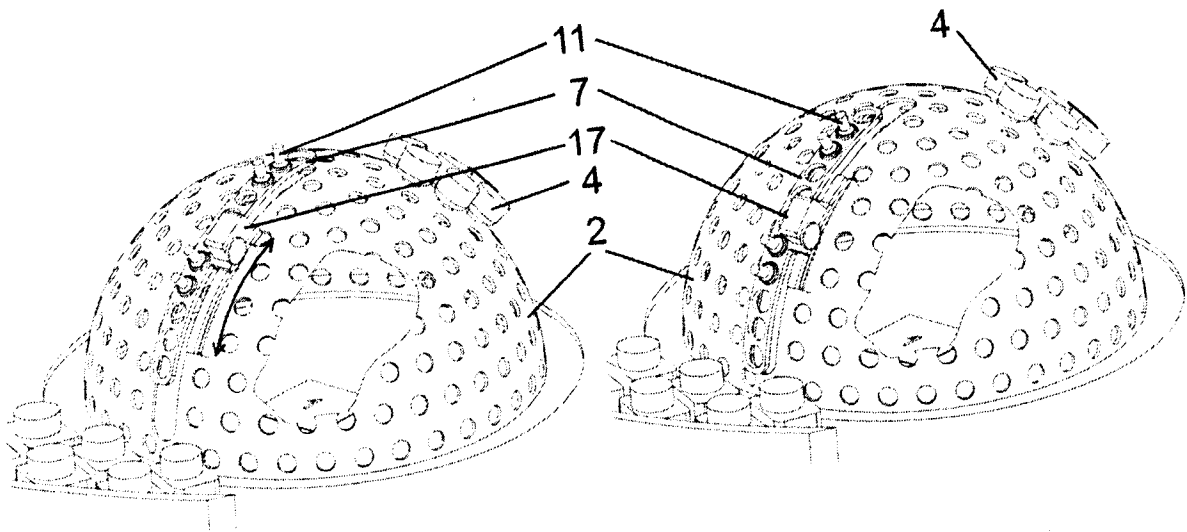
PV2016-T12

PV 752-2016

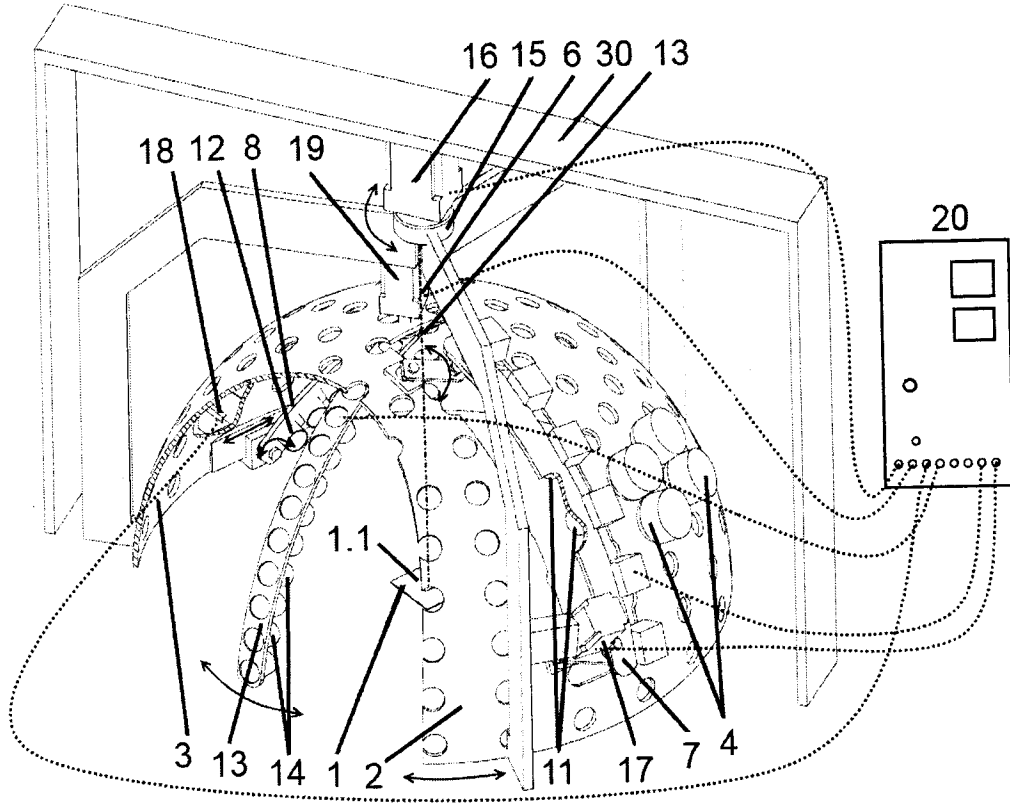
1/4



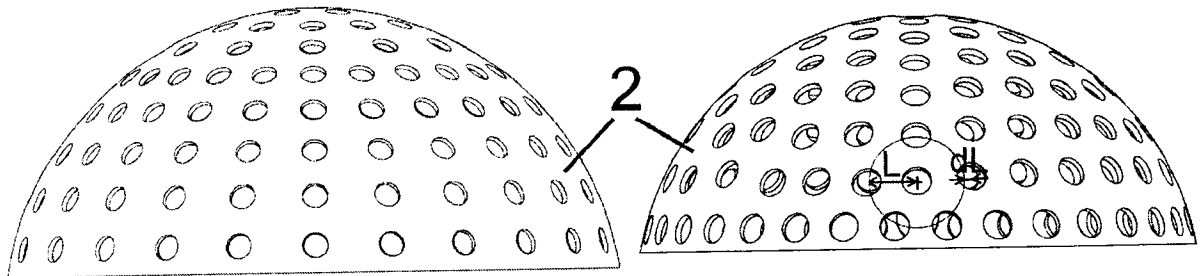
Obr. 1



Obr. 2



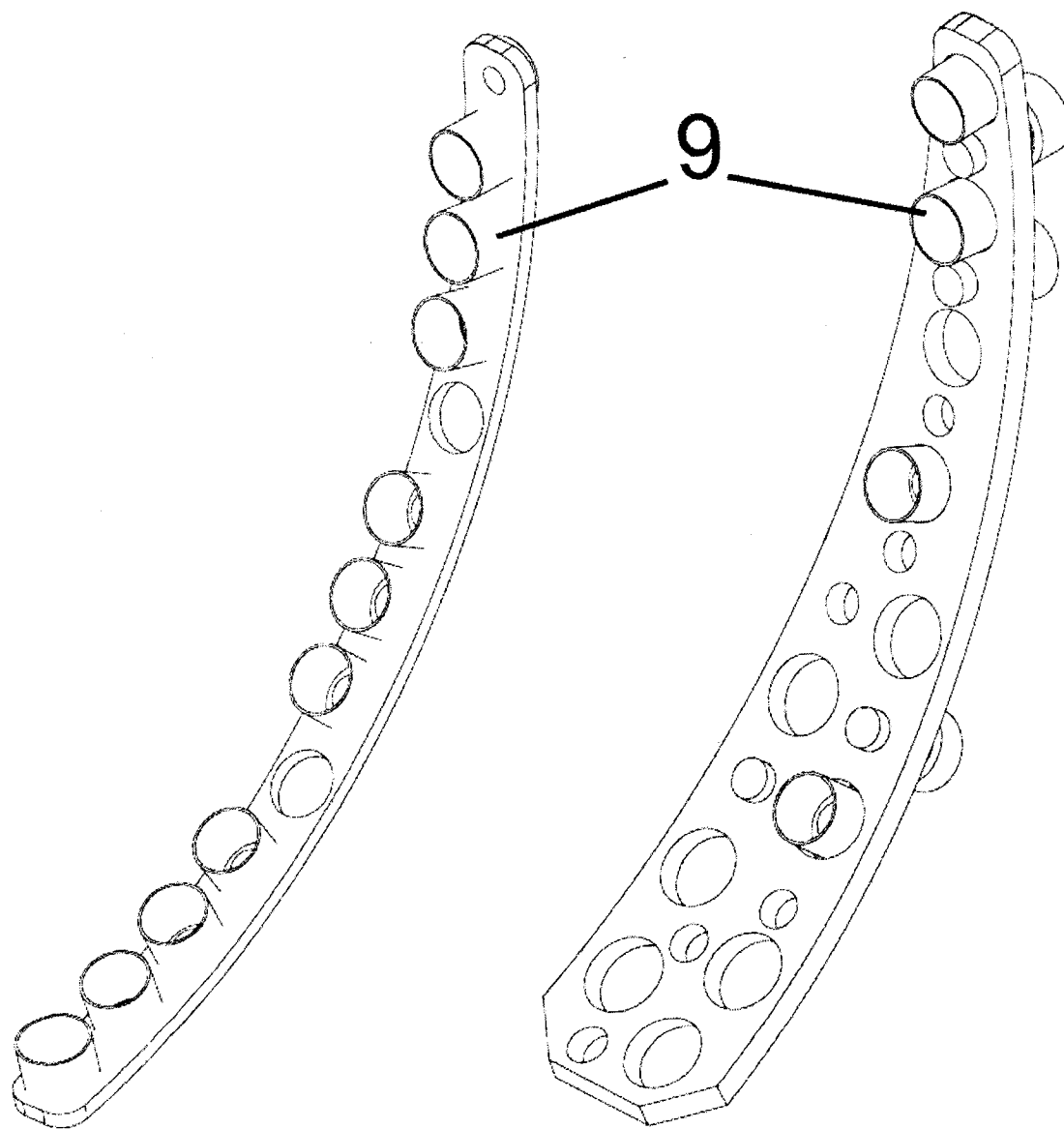
Obr. 3



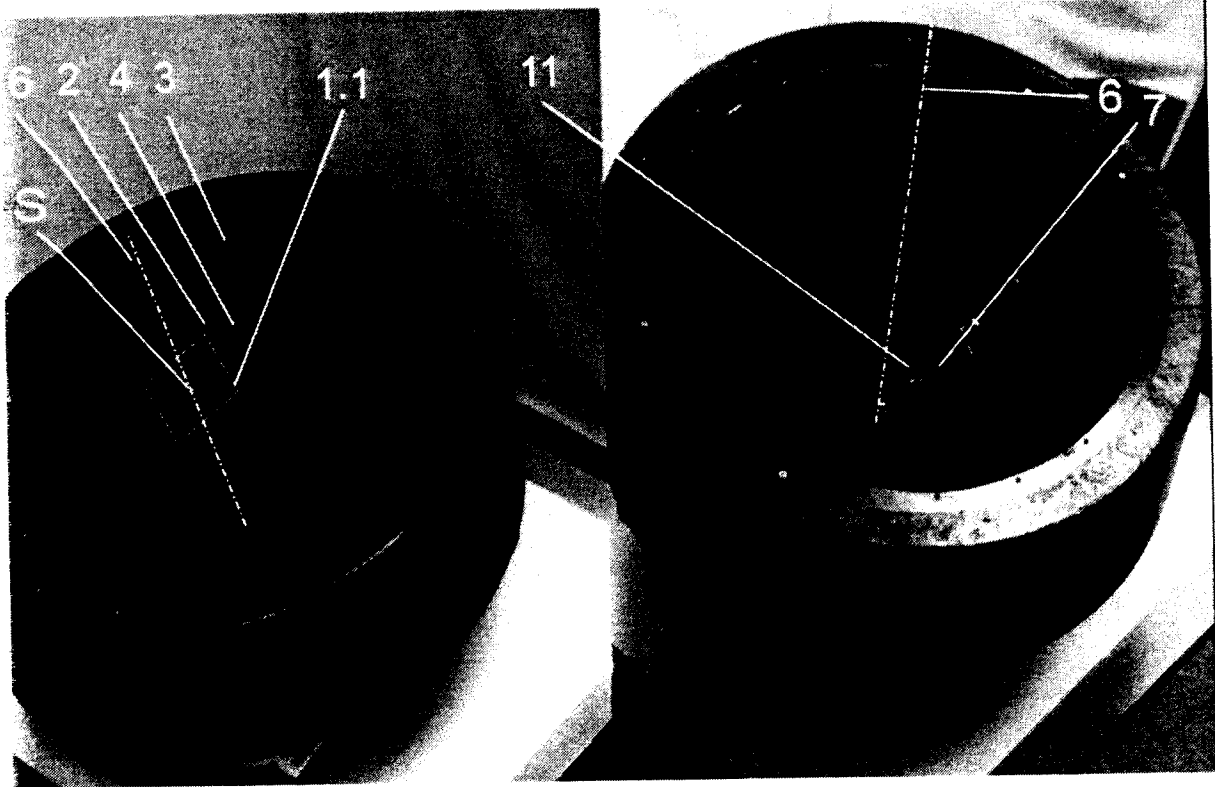
Obr. 4

30.11.15

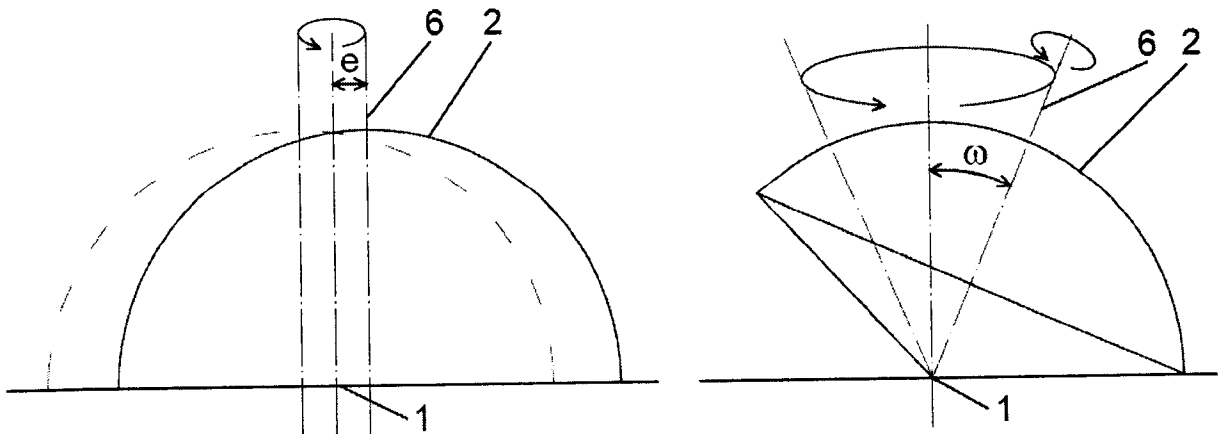
3/4



Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7