

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2021-549**
(22) Přihlášeno: **03.12.2021**
(40) Zveřejněno: **14.06.2023**
(Věstník č. 24/2023)
(47) Uděleno: **30.11.2023**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **10.01.2024**
(Věstník č. 2/2024)

(56) Relevantní dokumenty:
CN 209342058 U; CN 109798831 A; CN 107221364 A; CN 107170499 A.

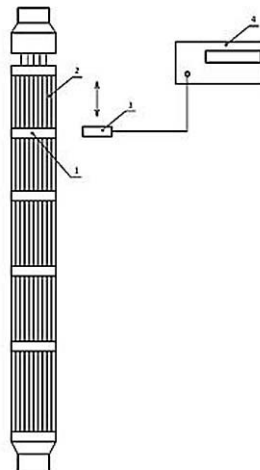
(73) Majitel patentu:
Centrum výzkumu Řež s.r.o., Husinec, Řež, CZ
Ústav teorie informace a automatizace AV ČR,
v.v.i., Praha 8, Libeň, CZ

(72) Původce:
RNDr. Jan Blažek, Ph.D., Praha 4, Nusle, CZ
Ing. Marcin Kopeć, Kralupy nad Vltavou, CZ
Ing. Martina Malá, Nový Malín, CZ
Ing. Ondřej Pašta, Liberec, Liberec XXIII-Doubí,
CZ

(74) Zástupce:
NEOLEGAL - advokátní a patentová kancelář, Ing.
Jaroslav Novotný, Římská 2135/45, 120 00 Praha 2,
Vinohrady

(54) Název vynálezu:
Metoda měření deformace palivového souboru pomocí digitálního zpracování obrazu z videozáznamů z inspekci paliva

(57) Anotace:
Metoda měření deformace palivového souboru pomocí digitálního zpracování obrazu z videozáznamů z inspekci paliva spočívá v tom, že pro detekci jednorozměrného signálu "rotace" od svislého směru se využije každý snímek kamerového záznamu z inspekci jaderných palivových souborů (1). Posloupnost úhlů (8) se transformuje do vyhnutí od vertikály. Dvojměrné profily z jednotlivých stran (2) palivového souboru (1) se kombinují do trojrozměrného průhybu palivového souboru (1). Deformace se postupně odečítá z jednotlivých snímků videa pořízených v rámci pravidelných inspekci palivových souborů (1) pro určení profilu strany (2) palivového souboru (1), a to na všech bočních stranách (2) palivového souboru (1), což umožňuje, aby se provedl výpočet průhybu palivového souboru (1) do roviny paralelní se stranou (2) palivového souboru (1) snímaného kamerou (3) a stanovení profilu (6) průhybu osy palivového souboru (1). Nasnímané záznamy se ukládají v počítači (4) pro zpracování a zobrazení výstupu.



Metoda měření deformace palivového souboru pomocí digitálního zpracování obrazu z videozáznamů z inspekce paliva

5 Oblast techniky

Vynález se týká metody měření deformace palivového souboru pomocí digitálního zpracování obrazu z videozáznamů z inspekce paliva.

- 10 Vizualní inspekce ozářených jaderných palivových souborů probíhá vždy trvale hluboko pod hladinou chladiva sloužícího pro odvádění zbytkového tepla a současně ke stínění radioaktivního záření. Provádění inspekce vyžaduje využití radiačně odolných a vodotěsných kamer.

15 Dosavadní stav techniky

- 20 Počátky měření deformace palivových souborů (prodloužení, průhybu a zkrutu) se datují do sedmdesátých let dvacátého století. Důvodem k tomuto přístupu bylo udržení vysokého standardu bezpečnosti palivových souborů po ozáření, zjištění jejich deformačních vlastností a predikce změn vlastností souborů v dalších ozařovacích cyklech. K měření deformace bylo v minulosti používáno několik různých systémů a metod založených na různých formách snímání. Postupně byla zavedena forma částečné automatizace procesu měření, čímž došlo k omezení negativního vlivu lidského faktoru na správnost, přesnost a rychlost měření.

- 25 Zpočátku byly pro měření používány převážně kontaktní snímače nebo pole kontaktních snímačů, dotýkající se bočních stran distančních mřížek. Použití kontaktních snímačů (např. LVDT) má však významnou nevýhodu. Touto nevýhodou je bezpečnostní riziko v případě poruchového stavu snímače při dosednutí do oblasti palivových proutků, kdy může dojít k nežádoucí interakci snímače s palivovými proutky. Jiný nebezpečný stav může nastat i v případě, že se snímač nedostane do kontaktu s žádnou částí palivového souboru a současně je jeho poloha vůči palivovému souboru neznámá. Palivové proutky mohou být snímačem při odstraňování poruchového stavu poškozeny, takže může dojít ke stavu ohrožení jaderné a radiační bezpečnosti. Výhodou měření pomocí kontaktních snímačů je vysoká přesnost naměřených hodnot a nízká míra ovlivnění chladivem proudícím okolo palivového souboru.

- 35 Dalším inovačním krokem je použití pole bezkontaktních ultrazvukových snímačů umístěných v pevných pozicích tak, aby ke kontaktu ultrazvukového paprsku s palivovým souborem došlo na bočním plechu distančních mřížek. Tento způsob měření vyžaduje, stejně jako použití kontaktních snímačů, přesně určený stacionární stav palivového souboru, což lze považovat za nevýhodu. Další nevýhodou je nutnost použití velkého počtu snímačů a jejich vzájemné ovlivňování. Naopak, výraznou výhodou je vyloučení rizikového stavu poškození palivového souboru při poruše ultrazvukového snímače nebo jeho řízení.

- 45 Dalším přístupem používaným v minulosti bylo použití optických systémů využívajících zejména kamer. Tyto systémy jsou založeny na jednotnosti a jednoduchosti systému pro měření geometrie a současném použití tohoto systému pro vizuální inspekce. Pokrok vizuálních systémů oproti měření kontaktními snímači je v použití bezkontaktního měření, a tudíž vyloučení rizikového stavu při poruše snímače (většinou kamery) nebo jeho řízení. Nevýhodou těchto vizuálních systémů je vysoká závislost přesnosti měření na optických podmínkách nastávajících v prostředí mezi kamerou a palivovým souborem (vlnění chladiva vlivem změn teploty, ohyb světla, zakalení chladiva, efekt „rybího oka“) a také nutnost použití speciálních radiačně odolných optických systémů (skla běžných kamer v radiačním prostředí ztrácejí průhlednost a použité polovodiče degradují vlivem záření). V minulosti bylo vyhodnocení geometrických změn z optických systémů prováděno ručně nebo s omezenou mírou automatizace. Ruční odečet parametrů je však náchylnější k chybě způsobené subjektivním vyhodnocením.

55

- V posledních deseti letech se začaly objevovat i jiné metody měření deformace palivových souborů. Jsou to metody využívající například šikmého pohledu na palivový soubor a analýzy obrazu. Pomocí ní jsou nalezeny pozice charakteristických prvků palivového souboru a vytvořena geometrická síť, která je porovnána s obdobnou sítí nedeformovaného palivového souboru. Tento způsob měření deformace je velmi rychlý. Rovněž je velmi bezpečný i vzhledem k poruchám a nepředpokládaným stavům systému, protože nedochází k žádné interakci (ani blízké vazbě) mezi palivovým souborem a částmi měřicího zařízení. Nedostatkem je však nízká přesnost měření.
- Důležitým prvkem, který se objevuje v měření deformace palivových souborů, je jistá míra automatizace procesu měření a vyhodnocování, zejména zpracování signálů a obrazů, čímž je omezen nevhodný vliv lidského faktoru na měření a vyhodnocování.

15 Podstata vynálezu

Uvedené nedostatky odstraňuje metoda měření deformace palivového souboru pomocí digitálního zpracování obrazu z videozáznamů z inspekcí paliva, podle tohoto vynálezu, jehož podstata spočívá v měření deformace palivového souboru pomocí odečítání rozměrů změn z výsledků digitálního zpracování obrazu přijímaného z kamer. Měření je provedeno v rámci zpracování videa pořízeného při rovnoběžném vzájemném pohybu kamery a palivového souboru, který se skládá z palivových proutků, ve směru jeho podélné osy. Základním principem tohoto vynálezu je přesná detekce rotace proutků v ose kolmé na snímek videa a analýza těchto hodnot. S výhodou se zde využívá geometrie palivového souboru a vlastností deformací, které se na palivu vyskytují. Ideální geometrie palivového souboru odpovídá vertikálně orientovaným palivovým proutkům po celé jeho délce. V případě, že dojde k prohnutí palivového souboru, děje se tak s omezeným poloměrem křivosti, tj. kamera zaznamenávající pouze výsek (ne více než pár desítek centimetrů) zaznamená proutky orientované stejným směrem, ovšem tento směr díky prohnutí nemusí být nutně vertikální. Při zpracování se využije této vlastnosti prohnutého palivového souboru, čímž se získá posloupnost úhlů z jednoho konce palivového souboru na druhý. Pro tento účel se využívá Cannyho hranového detektoru a Houghovi transformace. Z každého snímku videa jsou vyextrahovány hrany, nastavení Cannyho filtru pro detekci hran využívá vypočtený Otsu práh černobílé varianty snímku t , kde konstanty jsou nastaveny následovně:

$$35 \quad \text{canny_min} = 0.15 * t_0$$

$$\text{canny_max} = 0.3 * t_0$$

- Hrany získané tímto nastavením odpovídají okrajům proutků. U konkrétní implementace se může optimální nastavení filtru lišit, zejména kvůli variabilitě osvětlení a scény. Díky omezené křivosti průhybu a omezené výšce snímků tvoří rovné čáry pootočené o omezený úhel vůči vertikále. Úhel natočení se detekuje pomocí Houghovi transformace, odfiltruje se úhly mimo povolený rozsah (tj. $\pm 10^\circ$) a následně se provede hlasování o majoritním úhlu ve snímku. Parametrizace Houghovy transformace se nastaví optimálně vzhledem k velikosti snímku ($\frac{3}{4}$ snímku) a efektu rybího oka kamery (ten je v optimálním případě ve zpracovávané části snímku zanedbatelný). Tím se dostane 1D informace o rotaci každého snímku. Následně je nutné tento jednorozměrný (1D) signál očistit od vysokofrekvenčního šumu způsobeného vibracemi snímacího zařízení a extrahovat z něj nízkofrekvenční změny, ze kterých se následně spočítá vychýlení palivového souboru od vertikální osy. Stejný postup se použije pro všechny strany palivového souboru. Pro měření je tedy třeba zajistit, aby osa posuvu kamery byla po celou dobu snímání rovnoběžná s pomyslnou vertikální osou nezkrouceného palivového souboru.

Objasnění výkresů

5 Vynález je popsán pomocí výkresů, kde obr. 1. zobrazuje základní princip průběhu vizuální inspekce palivových souborů. Obr. 2 schematicky znázorňuje vzhled průběhu vyhodnocení videozáznamů a sestavení profilu jedné strany palivového souboru.

Příklady uskutečnění vynálezu

10 Metoda měření a vyhodnocování byla sestavena v experimentálním zařízení v laboratoři Centra výzkumu Řež, ve kterém lze simulovat a měřit různé změny geometrie palivového souboru 1 pomocí změn pozic a poloh distančních mřížek, mezi kterými jsou umístěny palivové proutky stejně jako v reálném palivovém souboru 1.

15 Toto zařízení se skládá z nádrže naplněné vodou, ve které je umístěn imitátor palivového souboru 1 a systém umožňující pohyb kamery 3 mířící na stranu 2 imitátoru. Při pohybu kamery 3 ve směru jiném, než ve směru podélné osy imitátoru palivového souboru 1, obraz imitátoru nebude zaznamenán do videozáznamu.

20 Se spuštěním pohybu kamery 3 ve směru rovnoběžném s osou imitátoru jsou videozáznamy uloženy do akvizičního systému 4. V takové soustavě kamera reprezentuje referenční bod, vůči kterému jsou v dalších krocích vztaženy úhlové odchylky palivových proutků. Po natočení všech neparalelních stran imitátoru palivového souboru 1 je možné provést digitální zpracování obrazu z videozáznamu z jednotlivých stran pro stanovení profilu 6 průhybu strany 2 souboru ve směru kolmém vůči kameře 3. Z pozice palivových proutků na každém jednotlivém snímku jedné strany 2 palivového souboru 1 je sestavena sekvence vypočtených dominantních úhlů 8. Sekvence je následně rozdělena na vysoké frekvence (šum a chvění kamery), nízké frekvence vlnění, tj. prohnutí palivového souboru 1a konstantní úhel tj. nepřesnost v natočení kamery 3. Nízké frekvence jsou následně použity pro sestavení profilu prohnutí palivového souboru 1. Nízké frekvence se získají vyhlazením naměřených úhlů 8 plovoucím okénkem o definované velikosti. Toto nastavení je odvozeno od maximální křivosti průhybu palivového souboru 1. Tento způsob získání nízkofrekvenčního signálu není jediným možným postupem, vynález v tomto bodě pokrývá libovolný i jiný nízkopásmový filtr. Posloupnost úhlů 8 se následně přepočte

35 kumulativně do horizontální výchylky dle předpisu:

$$\Delta X_i = \sum_{j=0}^i \sin(\alpha_j) \cdot d_j$$

40 Kde α je naměřený úhel, ΔX odpovídá posunu vlevo/vpravo od vertikály a d odpovídá posunu v počtu pixelů pro daný frame. Dvojměrné profily z jednotlivých stran 2 palivového souboru 1 se kombinují do trojměrného průhybu palivového souboru 1.

45 Metoda měření deformace palivového souboru 1 pomocí digitálních zpracování obrazu z vizuálních inspekcí byla ověřována také na devatenácti reálných sadách záběrů z inspekcí palivových souborů 1.

50 Tato inovativní metoda měření a vyhodnocení umožňuje provést měření průhybu palivového souboru 1 v rámci pravidelných inspekcí palivových souborů 1. Pro správné vyhodnocení průhybu je třeba, aby digitálním zpracováním prošly všechny měřené strany 2 palivového souboru 1. Tím, že je měření výsledkem aktivit, které by byly provedeny i bez ohledu na měření geometrie, se významně šetří čas na provedení měření a získává se informace o všech palivových souborech 1, které podléhají inspekci. Příkladem může být ultrazvukové nebo laserové měření

geometrie paliva, které se běžně provádí v rámci inspekce paliva. Takové měření vyžaduje speciální, předem určené a dedikované zařízení zkonstruované pro tyto účely, a na rozdíl od popsané metody, vyžaduje extra čas při odstávce. Nakonec i údržba snímačů může přispívat k větší expozici personálu – umístění, výměna a dekontaminace snímačů. V případě použití navrhované metody není nutné nastavovat měřicí snímače do vhodné pozice vůči distančním mřížkám či jiným částem palivového souboru 1; měřicí body jsou automaticky nalezeny v obraze z kamery 3. Toto lze také považovat za jednu z výhod popisované metody měření. Další výhodou je možnost měření palivových souborů 1 s různým počtem distančních mřížek a/nebo s různým periferním provedením, jako např. přítomnost obálky palivových souborů 1, jako v případě paliva typu VVER-440. Významnou výhodou je také vysoká automatizace procesu, a tím i omezení vlivu lidského faktoru na měření a vyhodnocení výsledků. Metoda detekuje nejednoznačné vyhodnocení v případě, kdy natočení kamery 3 vůči jednotlivým stranám 2 palivového souboru 1 a směr 7 nízkých vibrací, kolmý vůči ose vzájemného pohybu kamery 3 a palivového souboru 1, se významně liší na stranách 2 vstupujících do vyhodnocení.

Tuto metodu je možné využít také při měření geometrie a deformace jiných předmětů, u kterých se vyskytuje výrazný rozdíl ve tvaru odrazného povrchu (rovinnost-křivost). Nutnou podmínkou funkčnosti a přímé aplikovatelnosti metody pro měření jiných předmětů je to, že v každém framu natočeného videozáznamu se budou nacházet stejně orientované svislé linie, např. od hran nebo zakřivení povrchu částí měřeného předmětu.

Průmyslová využitelnost

Metodu měření deformace a geometrie palivového souboru pomocí digitálního zpracování obrazu videozáznamů z inspekce palivových souborů a zpracování nasnímaných záběrů podle tohoto vynálezu je možné aplikovat v zařízeních, pomocí kterých se provádí pravidelné kontroly palivových souborů. Tato zařízení se vyskytují především v jaderných elektrárnách, ale také v průmyslových podnicích vyrábějících jaderné palivové soubory, výzkumných institucích, případně v lokalitách pro mokré skladování nebo trvalé uložení použitých jaderných palivových souborů.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Metoda měření deformace palivového souboru pomocí digitálního zpracování obrazu z videozáznamů z inspekce paliva, **vyznačující se tím**, že do nádrže naplněné vodou, ve které je umístěn imitátor palivového souboru (1) a systém umožňující pohyb kamery (3) mířící kamerou na stranu (2) palivového souboru (1), se spustí kamera (3) ve směru rovnoběžném s osou imitátoru, videozáznamy se uloží do počítače (4), přičemž v takové soustavě směr pohybu kamery (3) reprezentuje referenční přímkou, vůči které se v dalších krocích vztáhnou úhlové odchylky palivových proutků, kdy po natočení všech měřených stran (2) palivového souboru (1) se provede digitální zpracování obrazu videozáznamů jednotlivých stran (2) pro stanovení profilu (6), průhybu strany (2) palivového souboru (1) vůči směru pohybu kamery (3), přičemž z pozice palivových proutků na každém jednotlivém snímku jedné strany (2) palivového souboru (1) se sestaví sekvence vypočtených úhlů (8), která se následně rozdělí na vysoké frekvence, šum a chvění kamery (3), nízké frekvence, vlnění, prohnutí palivového souboru (1) a konstantní úhel, jako nepřesnost v uchycení kamery (3), přičemž nízké frekvence se následně použijí pro sestavení profilu prohnutí palivového souboru (1) a získají se vyhlazením naměřených úhlů (8) plovoucím okénkem o definované velikosti, přičemž toto nastavení se odvodí od maximální možné křivosti průhybu palivového souboru (1), přičemž posloupnost úhlů (8) se následně přepočte kumulativně do horizontální výchylky dle předpisu:

$$\Delta X_i = \sum_{j=0}^i \sin(\alpha_j) \cdot d_j .$$

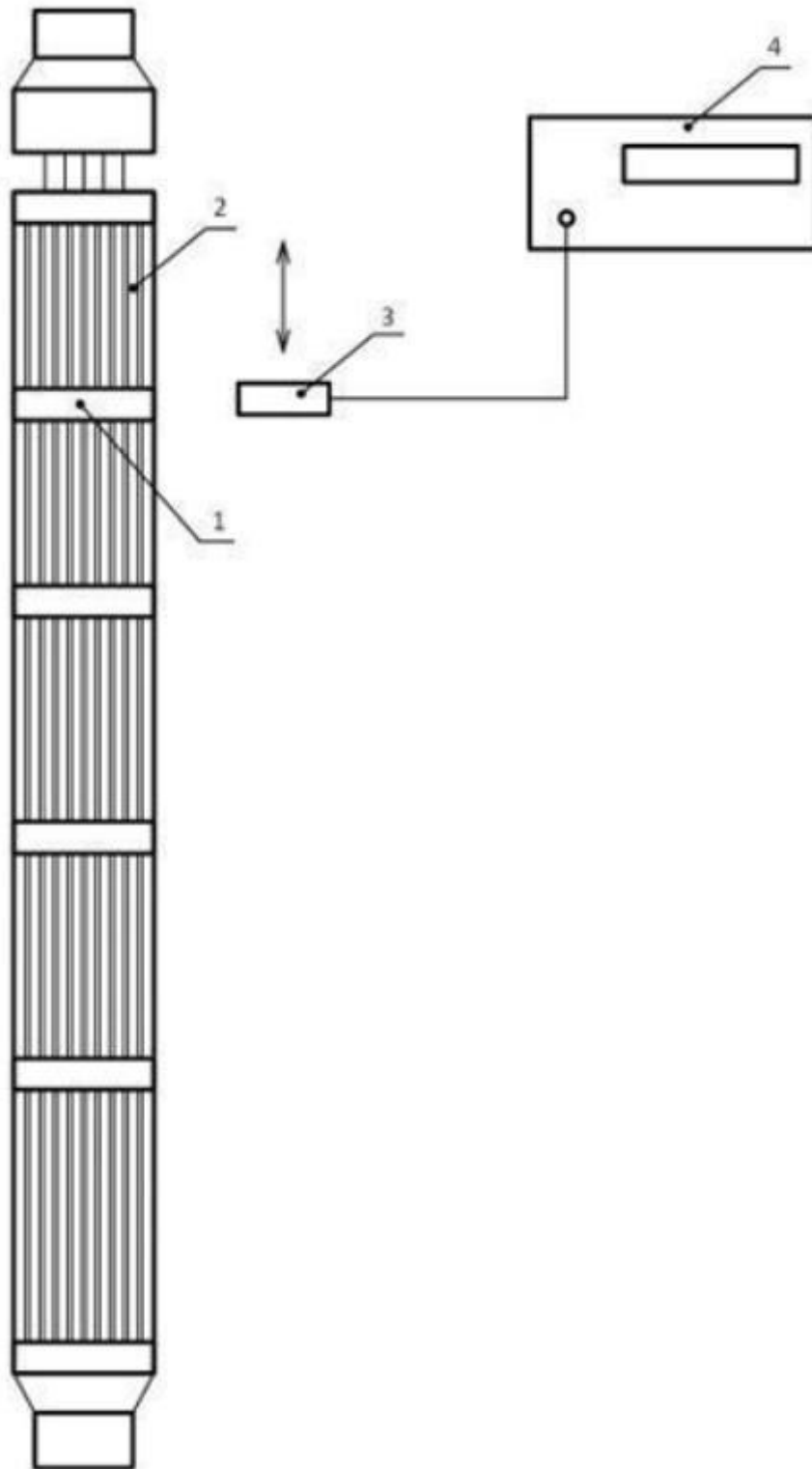
kde α je naměřený úhel, ΔX odpovídá posunu vlevo/vpravo od vertikály a d odpovídá posunu v počtu pixelů pro daný frame.

2. Metoda měření deformace palivového souboru pomocí digitálního zpracování obrazu z videozáznamů z inspekce paliva, **vyznačující se tím**, že dvojrozměrné profily z jednotlivých stran (2) palivového souboru (1) se kombinují do trojrozměrného průhybu palivového souboru (1).

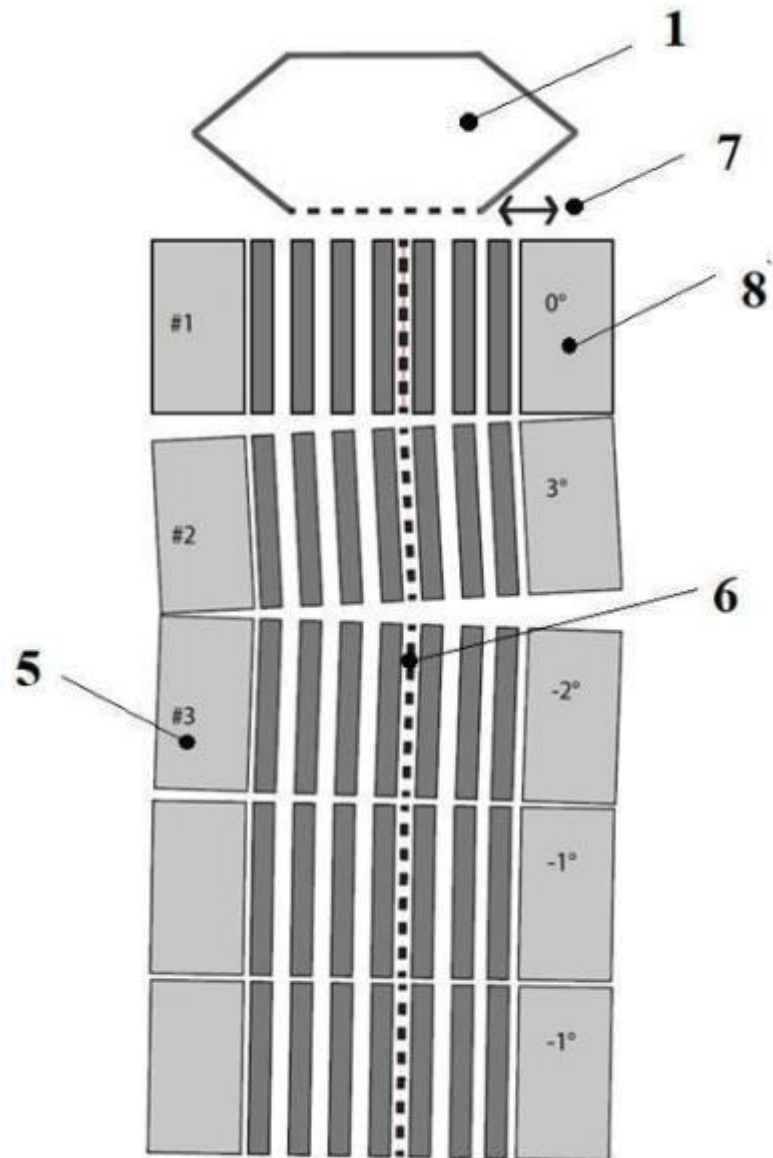
2 výkresy

Seznam vztahových značek:

- 1 palivový soubor
- 2 strana palivového souboru
- 3 kamera
- 4 počítač
- 5 jednotlivý snímek
- 6 profil průhybu boční strany palivového souboru
- 7 směr nízkých vibrací
- 8 úhel natočení jednotlivého snímku



Obr. 1



Obr. 2