

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

36 242

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

B61L 1/06 (2006.01)
G01L 1/24 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2022-39629**
(22) Přihlášeno: **31.01.2022**
(47) Zapsáno: **02.08.2022**

- (73) Majitel:
PRODIN a.s., Pardubice, Zelené Předměstí, CZ
Vysoká škola báňská - Technická univerzita
Ostrava, Ostrava, Poruba, CZ
- (72) Původce:
Mgr. et Mgr. Jan Jargus, Ph.D., Havířov, Šumbark, CZ
Ing. Jakub Jaroš, Ostrava, Výškovice, CZ
Ing. Marcel Fajkus, Ph.D., Ostrava, Hrabůvka, CZ
doc. Ing. Jan Nedoma, Ph.D., Kostelec na Hané, CZ
prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc., Vřesina, CZ
Ing. Tomáš Krenželok, Ph.D., Šilheřovice, CZ
Tomáš Sural, Sobotín, CZ
- (74) Zástupce:
INPARTNERS GROUP, Ing. Dušan Kendereški,
Tuřanka 1519/115a, 627 00 Brno, Slatina

- (54) Název užitého vzoru:
**Kompozitní optovláknový senzor pro
detekci tlakové síly vznikající průjezdem
kola kolejového vozidla a jeho uspořádání**

Kompozitní optovláknový senzor pro detekci tlakové síly vznikající průjezdem kola kolejového vozidla a jeho uspořádání

5 Oblast techniky

Toto technické řešení se týká víceúčelového kompozitního senzoru kolejových vozidel s optickými vlákny, zejména kompozitního optovláknového senzoru vhodného pro detekci tlakové síly vznikající průjezdem kola kolejového vozidla, přičemž se týká také jeho uspořádání.

10

Dosavadní stav techniky

V současném stavu techniky (viz článek „Optické a vláknové optické senzory v železničních aplikacích“ v časopise Nová železniční technika, 3/2021, str. 25-29) jsou známy mikroohybové optické senzory patřící do skupiny amplitudových senzorů. Tyto senzory pracují na principu porušení okrajových podmínek šíření světla v optickém vlákně. Vlivem měřené veličiny dochází ke změně geometrie optického vlákna a tím i k porušení podmínky úplného odrazu na rozhraní jádro-plášť. Tyto senzory vyhodnocují pokles intenzity vystupujícího světla z konce optického vlákna nebo nárůst intenzity světla, které uniká přes plášť do okolního prostředí. Pomocí mikroohybových senzorů lze například snímat následující veličiny: hmotnost, mechanický tlak, zrychlení, deformace a vibrace. Hlavní výhody těchto senzorů jsou jednoduchá konstrukce, využití multimódových optických vláken a s tím související nízká cena. V konkrétním provedení byly do dvou míst pod patu kolejnice umístěny mikroohybové snímače, přičemž při průjezdu nápravy byly snímače deformovány úměrně hmotnosti působícím tlakem. Pomocí dvou senzorů bylo možné spolehlivě měřit i rychlost a směr železniční i tramvajové soupravy.

V dokumentu DE 10057740 A1 je popsáno zařízení pro detekci vad kruhovitosti kol kolejových vozidel pomocí optovláknového senzoru, který je umístěn buď mezi patou kolejnice a podkladnicí či pražcem, nebo v příčném otvoru stojiny kolejnice, a dále způsob detekce vad kruhovitosti kol kolejových vozidel uvedeným zařízením. Uvedený senzor obsahuje pouzdro a v něm uložené optické vlákno, které je elasticky deformovatelné v odezvě na zátěž způsobenou průjezdem kola. Tato deformace proporcčně k zátěži ovlivňuje vstupní světelný signál v optickém vlákně a může spočívat v dočasné změně délky nebo průměru vlákna, čímž se prodlužuje dráha, případně zvyšuje útlum světelného signálu. Takto změněný signál je detekován měřicím zařízením, které na základě vysoko- nebo nízko-frekvenčních výchylek signálu detekuje přítomnost nebo nepřítomnost samotného projíždějícího kola a zejména vad jeho kruhovitosti.

Nevýhodou uvedeného senzoru je, že při vysokých zátěžích (např. plně naložený nákladní vlak) může změnou délky nebo průměru samotného optického vlákna dojít k nevratným deformacím a k poškození senzoru.

V dokumentu DE 19518123 A1 je popsáno zařízení pro detekci průjezdu kol kolejových vozidel a pro stavební prvky ovlivněné elektrickou nebo elektromagnetickou interferencí, které obsahuje optovláknový senzor a vyhodnocovací jednotku. Uvedený senzor obsahuje tělo a v něm uložené optické vlákno, které jsou obě elasticky deformovatelné v odezvě na zátěž způsobenou průjezdem kola. Tělo navíc v jednom provedení obsahuje téměř nedeformovatelné kovové kolíky, které jsou umístěné nad a pod optickým vláknem, navzájem v odstupu (tj. ne nad sebou, a ne příliš blízko vedle sebe) a bez přímého kontaktu s optickým vláknem (viz obr. 2 dokumentu DE 19518123 A1). Při působení tlakové síly tlačí tyto kovové kolíky prostřednictvím elasticky deformovatelného těla na optické vlákno, čímž ho deformují z obou stran. Uvedená deformace proporcčně k zátěži ovlivňuje vstupní světelný signál v optickém vlákně a může spočívat v reverzibilním mikroohybu, vyosení nebo změně úhlu, čímž se zvyšuje útlum světelného signálu. Takto změněný signál je detekován vyhodnocovací jednotkou, která na základě výchylek signálu detekuje přítomnost nebo nepřítomnost samotného projíždějícího kola.

Hlavní nevýhodou uvedeného senzoru je, že uvedené kolíky jsou vyrobeny z kovu, což může způsobit problémy v senzorech, které podléhají intenzivní elektrické nebo elektromagnetické interferenci a vyžadují výhradně nekovové součásti. Další nevýhodou uvedeného senzoru je, že tlaková síla působí z kovových kolíků na optické vlákno pouze nepřímo prostřednictvím elasticky deformovatelného těla, čímž se může rozložit na větší plochu, přičemž navíc v kombinaci citlivosti kovového kolíku na výkyvy teploty kvůli své vysoké teplotní roztažnosti můžou v detekovaném signálu vznikat nepřesnosti.

V dokumentu EP 0608645 A1 je popsáno zařízení pro detekci tlakové síly, např. pro detekci průjezdu kola, které obsahuje optovláknový senzor a vyhodnocovací jednotku. Uvedený senzor obsahuje tělo (zhotovené např. z pryže) a v něm uložené optické vlákno, které jsou obě elasticky deformovatelné v odezvě na zátěž způsobenou tlakovou silou. V prvním provedení obsahuje tělo navíc kovový pás s vystupujícími žebry, která jsou umístěna pouze pod optickým vláknem, navzájem v odstupu (tj. ne příliš blízko vedle sebe) a v přímém kontaktu s optickým vláknem (viz obr. 3 EP 0608645 A1). V druhém provedení obsahuje tělo navíc kovový pás, který je umístěn pod optickým vláknem, a deformační vlákno z tvrdého materiálu, spirálovitě navinuto kolem optického vlákna v místě mezi elasticky deformovatelným tělem a kovovým pásem tak, že vytváří deformační průsečíkové body, které jsou umístěny nad a pod optickým vláknem, navzájem v odstupu (tj. ne nad sebou, a ne příliš blízko vedle sebe) a v přímém kontaktu s optickým vláknem (viz obr. 4 dokumentu EP 0608645 A1). Při působení tlakové síly tlačí tato vystupující kovová žebra nebo tyto deformační průsečíkové body deformačního spirálovitého vlákna prostřednictvím elasticky deformovatelného těla na optické vlákno, čímž ho deformují z jedné strany (první provedení) nebo z obou stran (druhé provedení). Uvedená deformace proporcčně k zátěži ovlivňuje vstupní světelný signál v optickém vlákně a může spočívat v reverzibilním mikroohybu, čímž se zvyšuje útlum světelného signálu. Takto změněný signál je detekován vyhodnocovací jednotkou, která na základě výchylek signálu detekuje přítomnost nebo nepřítomnost tlakové síly.

Hlavní nevýhodou uvedeného senzoru je, že uvedená žebra a uvedené deformační spirálovité vlákno jsou vyrobeny z kovu nebo jiného tvrdého materiálu, což může způsobit problémy v senzorech, které podléhají intenzivní elektrické nebo elektromagnetické interferenci a vyžadují výhradně nekovové součásti. Další nevýhodou uvedeného senzoru je, že kvůli své tvrdosti (kov nebo tvrdý materiál) můžou žebra nebo deformační spirálovité vlákno vést k poškození senzoru a k nevratným plastickým deformacím optického vlákna, zejména ke změnám jeho průměru.

Nevýhodou výše uvedených senzorů je tedy jejich nízká odolnost vůči intenzivní elektrické nebo elektromagnetické interferenci kvůli přítomnosti kovových součástí a riziko poškození optického vlákna příliš tvrdými deformačními prvky při vysokých zátěžích.

Ve stavu techniky tedy vzniká potřeba nového optovláknového senzoru pro detekci tlakové síly vznikající průjezdem kola kolejového vozidla, který je odolný vůči intenzivní elektrické nebo elektromagnetické interferenci a u kterého nedochází k poškození optického vlákna při vysokých zátěžích.

Podstata technického řešení

Cílem tohoto technického řešení je poskytnout optovláknový senzor překonávající výše uvedené nevýhody stavu techniky.

Podle prvního provedení je cíle tohoto technického řešení dosaženo kompozitním optovláknovým senzorem pro detekci tlakové síly vznikající průjezdem kola kolejového vozidla. Uvedený senzor obsahuje pouzdro pro ochranu vnitřních částí, první elasticky deformovatelný člen uložený v pouzdře a optické vlákno uložené v prvním elasticky deformovatelném členu a propojitelné

- s vyhodnocovací jednotkou obsahující zdroj světla, detektor a procesor. Vyhodnocovací jednotka se nachází mimo samotný senzor. První elasticky deformovatelný člen obsahuje na jedné (spodní) straně první deformační plochu, ve které je uspořádán alespoň jeden nepřerušovaně probíhající zářez pro uložení optického vlákna. V zářezu je uspořádán alespoň jeden první deformační výstupek, který je nižší než hloubka zářezu a který je konfigurován tak, že přenesením tlakové síly ze zátěže (např. kolo kolejového vozidla) přes kolejnici, pouzdro a první elasticky deformovatelný člen na první deformační výstupek a zatlačením prvního deformačního výstupku na optické vlákno je způsoben reverzibilní mikroohyb optického vlákna.
- Tento reverzibilní mikroohyb vede k částečnému vyvázání vedené světelné energie z optického vlákna. Velikost vyvázané světelné energie je závislá na míře deformace optického vlákna tlakovou silou, a tedy úměrná hmotnosti zátěže. Mikroohyby jsou poruchy přímočarosti osy vlákna a malé chyby v geometrii vlákna. V uvedeném senzoru vznikají při deformaci optického vlákna v místech deformačních výstupků, kde dochází ke stlačení optického vlákna a ke změně geometrie optického vlákna v řezu. Na mikroohybech jsou některé paprsky (vidy) odraženy pod velkým úhlem, unikají mimo jádro optického vlákna a dochází tak ke zvětšení jeho útlumu. Reverzibilita mikroohybu je zajištěna u zátěží menších, než je maximální zátěž v elastické míře deformace materiálu optického vlákna. Změny v tlakové síle působící na senzor se přenáší pomocí změny výkonu (intenzity) světelného paprsku vedeného v optickém vlákne do vyhodnocovací jednotky.
- V okolí deformačního členu dochází k další změně zakřivení optického vlákna – makroohybu, který se rovněž podílí na změnách přenosových vlastností vlákna. Makroohyby vznikají v případě ohybu optického vlákna pod určitou mez poloměru křivosti a způsobují nedodržení podmínky totálního odrazu na rozhraní jádra a pláště a vyvázání světla z optického vlákna. V uvedeném senzoru makroohyby vznikají kolem deformačních výstupků, kolem kterých se optické vlákno ohýbá. S klesajícím poloměrem zakřivení optického vlákna se zvětšuje množství vyvázané energie světelného paprsku z jádra optického vlákna směrem do jeho pláště a dále ven do okolí, čímž narůstá přenosový útlum vlákna. Jinými slovy, vyvázání světla makroohybem vzniká všude tam, kde je překročen minimální poloměr zakřivení vlákna, kritický pro daný typ vlákna. Změny tohoto zakřivení vlivem tlakové síly způsobují další vyvázání energie, které se přičítá k reverzibilním změnám na mikroohybech. Výsledkem působení sil na senzor je amplitudová modulace intenzity výstupního světelného signálu, přičemž do snímače vstupuje vstupní světelný signál s konstantní intenzitou. Vyhodnocovací jednotka následně provádí převod optického signálu na elektrický a z něj následně vyhodnocuje průjezd a přítomnost železničního kola v blízkosti senzoru.
- Podstatou tohoto technického řešení je, že první deformační výstupek je zhotoven z plastu, což zajišťuje odolnost vůči intenzivní elektrické nebo elektromagnetické interferenci, protože plast je nekovový materiál, a což dále eliminuje riziko poškození optického vlákna v přímém kontaktu s prvním deformačním výstupkem, protože plast je ve srovnání s kovem měkký a poddajný materiál, který kopíruje nerovnosti optického vlákna a nezpůsobuje jeho nevratné deformace, zejména změny průměru vlákna. Senzor tak vytváří robustní elektrickou izolaci mezi kolejnicí a vyhodnocovací jednotkou.
- Pro výrobu deformačních členů byla použita technologie 3D tisku z důvodu velkého množství typů filamentů, v rámci kterých je možné zvolit filament s požadovanými vlastnostmi: pevnost, tvrdost, provozní teplota, odolnosti vůči vnějším vlivům apod. Mezi vhodné plasty (filamenty pro 3D tisk) pro zhotovení deformačních výstupků patří poly(akrylonitril-*co*-styren-*co*-akrylát) (ASA), poly(akrylonitril-*co*-butadien-*co*-styren) (ABS), poly(akrylonitril-*co*-butadien-*co*-styren-*co*-methyl-methakrylát) (transparentní ABS; ABS-T; MABS), směs polykarbonátu a poly(akrylonitril-*co*-butadien-*co*-styrenu) (PC/ABS), poly(ethylen-*co*-tereftalát) s modifikací glykolu (PETG), směs poly(ethylen-*co*-tereftalátu) s modifikací glykolu a karbonových vláken (PETG/CF; CFJet), a poly(etherimid) uzpůsobený pro 3D tisk (PEI; PeiJet). Vhodným plastem pro zhotovení deformačních výstupků může být např. poly(akrylonitril-*co*-styren-*co*-akrylát) (ASA) nebo poly(ethylen-*co*-tereftalát) s modifikací glykolu (PETG), o tvrdosti měřitelné v rámci stupnice Shore A (obecně udávané hodnoty přibližně

25 až přibližně 100, např. 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 nebo 100) nebo v rámci Rockwellovy stupnice B (obecně udávané hodnoty 0 až přibližně 100, např. 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 85, 90, 95 nebo 100). Kromě toho lze využít i polyurethan (PU), zejména litý polyuretan, ze kterého je možné destičky odlít a vytvrdit do požadované tvrdosti, např. v rozmezích uvedených výše. Pro výrobu deformačních členů je možné využít i jiných postupů a materiálů splňujících výše uvedené, požadované parametry.

Podle druhého provedení je cíle tohoto technického řešení dosaženo kompozitním optovláknovým senzorem pro detekci tlakové síly vznikající průjezdem kola kolejového vozidla. Tento senzor ve srovnání se senzorem podle prvního provedení navíc obsahuje druhý elasticky deformovatelný člen uložený v pouzdře a obsahující na jedné (vrchní) straně druhou deformační plochu přilehlou k první deformační ploše prvního elasticky deformovatelného členu. Na druhé deformační ploše je uspořádán alespoň jeden druhý deformační výstupek tak, že po přiložení první a druhé deformační plochy k sobě vyčnívá do zářezu pro uložení optického vlákna a mimo první deformační výstupek. První a druhý deformační výstupek jsou tedy navzájem v odstupu a zároveň v přímém kontaktu s optickým vláknem. Druhý deformační výstupek je konfigurován tak, že přenesením tlakové síly přes pouzdro, první elasticky deformovatelný člen a první deformační výstupek na optické vlákno a zatlačením optického vlákna na druhý deformační výstupek je způsoben reverzibilní mikroohyb optického vlákna. Druhý deformační výstupek je rovněž zhotoven z plastu ze stejných důvodů jako první deformační výstupek.

V senzoru podle prvního provedení nastává reverzibilní mikroohyb optického vlákna pouze působením prvního deformačního prvku z jedné strany (seshora), což činí tento senzor méně citlivý, a tudíž vhodný pro vyšší zátěže (např. plně naložené nákladní vlaky, nebo obecně železniční vozidla). V malé míře se působením prvního deformačního prvku v jeho okolí projevuje i makroohyb optického vlákna. Naopak v senzoru podle druhého provedení nastává reverzibilní mikroohyb optického vlákna působením prvního i druhého deformačního prvku z obou stran (seshora i zezdola), což činí tento senzor citlivější, a tudíž vhodný pro nižší zátěže (např. tramvajová vozidla). Působením prvního i druhého deformačního prvku se v jejich okolí projevuje i makroohyb optického vlákna v podstatně větší míře než u senzoru podle prvního provedení.

Ve výhodném provedení mohou být první a/nebo druhé deformační výstupky uspořádány v matici deformačních bodů, např. v matici 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, 1x6, 2x2, 2x3, 2x4, 2x5, 2x6, 3x3, 3x4, 3x5, 3x6 atd. Na optickém vlákně se uplatňuje sériový model nárůstu útlumu vlákna na mikroohybech, tedy počet deformačních bodů násobí změnu optického signálu, a tím zvyšuje citlivost senzoru. Závislost není zcela lineární, při velkém počtu deformačních bodů na ploše toto způsobí rozklad sil a snížení efektu zvyšování citlivosti senzoru.

Pro matice o jednom řádku/sloupci může být zářez pro uložení optického vlákna lineárně probíhající a/nebo zakřivený. Pro matice o alespoň dvou řádcích a dvou sloupcích je potřebné, aby byl zářez pro uložení optického vlákna zakřivený. Zakřivením zářezu mohou vzniknout různé smyčky, vlásenky, spirály apod. Pro každý typ optického vlákna je definován minimální poloměr zakřivení. Zakřivením optického vlákna v zářezu nastává pouze zanedbatelný vlastní útlum světelného signálu, protože toto zakřivení má dostatečně velký poloměr zakřivení, kde makroohyb nevzniká. Zářezů může teoreticky být i více, ale to vyžaduje i více optických vláken, což samotný senzor komplikuje.

Ve výhodném provedení je optické vlákno mnohovidové. Mnohovidová vlákna mají přibližně o řád větší průměr než jednovidová, vyznačují se lepší mechanickou odolností, větší odolností vůči vibracím na spojovacích konektorech při shodné výrobní přesnosti a výrazně vyšší citlivostí na ohyby vůči jednovidovým vláknům.

Ve výhodném provedení jsou pouzdro, první elasticky deformovatelný člen a druhý elasticky deformovatelný člen zhotoveny z pryže nebo podobného elasticky deformovatelného materiálu pro zajištění elastické deformovatelnosti a účinného přenosu tlakové síly až na deformační výstupky

a optické vlákno. Výběr pryžových materiálů pro součásti senzoru je dán odolností proti vnějším vlivům, odolností proti ropným produktům a dalším chemikáliím, jejichž výskyt lze očekávat v místě nasazení senzoru.

- 5 Ve výhodném provedení obsahuje pouzdro vrchní část a spodní část. Vrchní část může obsahovat dva vystupující protilehlé okraje přesahující přes spodní část pro zabránění nechtěného posunu nebo prokluzu senzoru při pohybu kolejnice vlivem jejího pružení a tepelné roztažnosti. Vrchní část může dále obsahovat ochranné prvky pro ochranu propojení optického vlákna a optického kabelu vedeného ze senzoru do vyhodnocovací jednotky, viz níže. Výstup obou konců optického
10 vlákna může být vedle sebe nebo na opačných stranách pouzdra. Rozměry senzoru jsou určeny typem kolejnice, podkladnice, způsobu uchycení kolejnice apod.

- Ve výhodném provedení je mezi první deformační plochou prvního elasticky deformovatelného členu a spodní částí (první provedení), nebo mezi první deformační plochou prvního elasticky
15 deformovatelného členu a druhou deformační plochou druhého elasticky deformovatelného členu (druhé provedení) uspořádána plastová mezivrstva, která je s výhodou zhotovena z poly(ethylen-terefthalátu) s modifikací glykolu (PETG). Tato mezivrstva umožňuje ladění vlastností senzoru, a to svou tloušťkou a tuhostí materiálu. Např. mezivrstva s větší tuhostí dosahuje menších citlivostí a posouvá pracovní oblast snímání k větším tlakům působícím na
20 senzor, přičemž mezivrstva s menší tuhostí dosahuje analogicky opačný efekt.

- Podle třetího provedení je cíle tohoto technického řešení dosaženo uspořádáním uvedeného kompozitního optovláknového senzoru pro detekci tlakové síly vznikající průjezdem kola
25 kolejového vozidla, kde je kompozitní optovláknový senzor uložen pod patou kolejnice a na podkladnici. Senzor tak nahrazuje standardní pryžovou tlumící podkolejnicovou podložku vkládanou do mechanismu uchycení kolejnice. Uchycení kolejnice může být provedeno všemi standardními způsoby, tedy pomocí šroubů, pružinových úchytů nebo jejich kombinací. Umístění senzoru mezi patu kolejnice a podkladnici zajišťuje snímání tlaku působícího na kolejnici na víc rozložené ploše ve srovnání se snímáním ve stojině kolejnice. Navíc umístění senzoru do stojiny
30 kolejnice (jak uvádí dokument DE 19518123 A1) narušuje její mechanickou celistvost a je proto méně vhodné, přičemž toto umístění vyžaduje konstrukčně zcela jiné uspořádání senzoru a průběh tlaku v závislosti na jízdě vozidla je částečně odlišný.

- Oba konce optického vlákna vycházejícího ze senzoru jsou propojeny s optickým kabelem
35 s mnohovidovými vlákny, který slouží pro přivedení světelné energie a odvedení zbytkové energie ze senzoru. Optický kabel je dále propojen s vyhodnocovací jednotkou obsahující zdroj světla pro dodávání vstupního světelného signálu do senzoru, detektor pro převádění výstupního světelného signálu na napětěový, volitelně zesilovač a A/D převodník, a elektronické obvody obsahující procesor s pamětí s uloženým počítačovým programem pro zpracování výstupního signálu, a dále
40 se zdrojem napájení, výstupy a datovou linkou (např. RS485) pro indikaci výsledků vyhodnocení a pro předání případnému nadřazenému systému. Elektronické obvody rovněž zajišťují teplotní a proudovou stabilitu a signálové zpracování. Konektory optického kabelu jsou jak na rozhraní vyhodnocovací jednotky a optického kabelu, tak i na rozhraní optického kabelu a optického vlákna v senzoru (což je obvykle uzavřeno v zemním vodotěsném optickém rozvaděči).
45

- Uvedené uspořádání, kdy je odděleno místo měření (senzor pod patou kolejnice) od místa vyhodnocení, dovoluje instalovat senzor do míst s elektromagnetickou interferencí, kterými mohou
být současné senzory založené na monitorování změn elektrických parametrů a veličin senzorů negativně ovlivňovány. Zároveň se místo měření pod patou kolejnice chová jako elektricky pasivní
50 senzor, který nepotřebuje v místě měření žádnou elektrickou energii jak pro vlastní napájení, tak pro vlastní měření. V místě měření je pouze světlo např. s výkonem do 1 mW.

- Zdrojem světla v případě mnohovidových vláken může být vysílací laserová dioda nebo LED. Na tyto zdroje jsou kladeny zejména požadavky na stabilitu výstupního výkonu a snadnou vazbu
55 na přírodní optické vlákno v optickém kabelu. Vlnová délka použitého světla může být limitována

na vlnové délky do 1000 nm (viditelná oblast spektra a blízká oblast infračerveného záření), pracovní vlnová délka však není kritická. Z ekonomických důvodů je výhodné použití vlnových délek zdrojů světla stejných jako se používají v telekomunikační a přenosové technice. Minimální optický výkon potřebný pro činnost uvedeného senzoru je 10 μW . Tato hodnota závisí na vzdálenosti mezi místem měření a místem umístění vyhodnocovací jednotky. S rostoucí vzdáleností roste požadavek na velikost výkonu navázaného ze zdroje světla do mnohovidového optického vlákna až k hodnotě 100 μW pro vzdálenosti kolem 1 km.

Detektorem světla postupujícího ze senzoru a nesoucího informaci o poloze kolejového vozidla může být přijímací fotodioda. Lze použít několik vhodných typů fotodetektorů, jakými mohou být fotodiody na PN přechodu, PIN fotodiody, přijímací laserová dioda nebo fototranzistor. Podstatné je, aby fotodetektor byl schopen detekce světla o vlnové délce do 1000 nm. Této podmínce vyhoví všechny křemíkové fotodetektory. Pro zvýšení rozlišovací schopnosti je vhodné, aby fotodetektory měly malý šum vyjádřený v parametru temného proudu, jehož hodnota by neměla přesáhnout 20 nW.

Optický kabel mezi místem uložení senzoru a vyhodnocovací jednotkou nevyžaduje speciální ochranné prvky. Pro zachování plné elektrické izolace (dielektricity) by optický kabel neměl obsahovat žádné metalické prvky. Tento požadavek splňují běžné optické kabely používané v telekomunikacích a přenosech dat. Druhým požadavkem na optické kabely je, aby optická vlákna v něm byla mnohovidová, aby nedocházelo na rozhraní mezi optickým vláknem v senzoru a vláknem optického kabelu k dodatečným ztrátám. Třetím požadavkem je počet vláken v optickém kabelu, který stanovuje počet vláken např. na dvě. Jedno vlákno je určeno pro přívod energie, druhé vlákno pro jeho vyvedení ze senzoru a přenos signálu do vyhodnocovací jednotky. Protože existují dva rozměrové standardy optických mnohovidových vláken, a to 50 μm a 62,5 μm , je pro senzor vhodnější použití vlákna o průměru jádra 50 μm a průměru pláště např. 125 μm . U těchto vláken je menší rozdíl v indexech lomu jádra a pláště, což vede ke snadnějšímu vyvazování vedené energie v senzoru a tím k vyšší citlivosti.

Výše uvedený kompozitní optovláknový senzor nebo výše uvedené uspořádání můžou být použity pro detekci tlakové síly vznikající průjezdem kola kolejového vozidla, kterým může být např. železniční vozidlo, tramvaj, pozemní lanová dráha apod. Detekovaný průjezd kola může sloužit pro detekci polohy kola, počtu náprav, hmotnosti na nápravu, rychlosti průjezdu, vad kruhovitosti kola nebo proti falešnému ovlivnění jiným druhem vozidla nebo žádným vozidlem. Existuje rovněž teoretická možnost miniaturizace pro železniční modelářství.

Na výše uvedené uspořádání lze působit počítačem realizovaným způsobem detekce tlakové síly vznikající průjezdem kola kolejového vozidla, který obsahuje následující kroky:

- a) přivedení vstupního světelného signálu ze zdroje světla do optického vlákna;
- b) detekce a zpracování prvního výstupního světelného signálu z optického vlákna vyhodnocovací jednotkou na první výstupní signál, přičemž první výstupní signál odpovídá referenčnímu stavu, kdy senzor nedetekuje žádnou tlakovou sílu;
- c) působení tlakové síly na senzor, čímž je způsoben reverzibilní mikroohyb optického vlákna a pokles intenzity vstupního světelného signálu za vzniku druhého výstupního světelného signálu;
- d) detekce a zpracování druhého výstupního světelného signálu z optického vlákna vyhodnocovací jednotkou na druhý výstupní signál, přičemž druhý výstupní signál odpovídá stavu, kdy senzor detekuje tlakovou sílu; a
- e) srovnání prvního a druhého výstupního signálu a vyhodnocení vyhodnocovací jednotkou, zda je detekovaná tlaková síla způsobena průjezdem kola kolejového vozidla.

Vyhodnocení detekce průjezdu kola z dat získaných pomocí uvedeného senzoru je založen na vyhledávání charakteristického tvaru výstupního signálu. Tento signál ve formě napětí je získán pomocí detektoru, a volitelně zesilovače a A/D převodníku. V získaných datech je vyhledáván tvar

signálu specifický pro dvojkolí kolejového vozidla. U tvaru signálu je srovnáváno několik časových a úrovnových parametrů a pokud je zkoumaný signál v určitých tolerancích splňuje, je tento signál vyhodnocen jako projeté dvojkolí kolejového vozidla. Pokud tyto parametry signál nesplňuje, je vyhodnocen jako nekolejové vozidlo, případně jako žádné vozidlo. Tyto parametry mohou být v procesoru nastaveny pevně nebo můžou být plovoucí. Kombinace sledovaných parametrů časových, úrovnových a velikosti změny úrovně v krátkém čase umožňuje detekovat jak pomalé, tak i rychlé průjezdy kolejových vozidel s různou hmotností (zatižením náprav). Kolejové vozidlo rovněž může zrychlovat nebo zpomalovat a kvalitu detekce to neovlivní. Vyhodnocovací algoritmus pracuje také s plovoucí referenční hodnotou, díky které nedochází k falešným detekcím kolejových vozidel způsobeným například přirozeným pohybem kolejnice, jakým je tepelné pnutí způsobené změnou okolní teploty.

Dalším aspektem výše uvedeného způsobu může být i počítačový program obsahující instrukce, které způsobí, že výše uvedené uspořádání provede kroky výše uvedeného způsobu, a dále počítačem čitelný datový nosič, na kterém je uložen uvedený počítačový program, nebo signál nosiče dat nesoucí uvedený počítačový program.

Objasnění výkresů

Podstata tohoto technického řešení je dále objasněna na příkladech jeho uskutečnění, které jsou popsány s využitím připojených výkresů, kde

obr. 1 znázorňuje boční pohled v řezu na senzor podle prvního provedení;

obr. 2 znázorňuje boční pohled v řezu na senzor podle druhého provedení;

obr. 3 znázorňuje spodní pohled na vrchní část pouzdra;

obr. 4 znázorňuje spodní pohled na první elasticky deformovatelný člen;

obr. 5 znázorňuje boční pohled v řezu A-A na první elasticky deformovatelný člen;

obr. 6 znázorňuje boční pohled v řezu B-B na první elasticky deformovatelný člen;

obr. 7 znázorňuje vrchní pohled na druhý elasticky deformovatelný člen;

obr. 8 znázorňuje boční pohled v řezu C-C na druhý elasticky deformovatelný člen;

obr. 9 znázorňuje závislost změny intenzity světelného signálu na čase při průjezdu kola nad senzorem (celý graf A, detaily B a C);

obr. 10 znázorňuje perspektivní pohled na uspořádání senzoru, kolejnice a podkladnice; a

obr. 11 znázorňuje blokové schéma vyhodnocovací jednotky.

Příklady uskutečnění technického řešení

Technické řešení bude dále objasněno na příkladech uskutečnění s odkazem na příslušné výkresy.

Prvním příkladem provedení je kompozitní optovláknový senzor 14 na obr. 1, obsahující spodní část 2 pouzdra a vrchní část 1 pouzdra s dvěma vystupujícími okraji 8 přesahujícími přes spodní část pouzdra 2 (viz obr. 3), a dále v pouzdře uložený první elasticky deformovatelný člen 3, ve kterém je uloženo optické vlákno 9 (obr. 4). První elasticky deformovatelný člen 3 obsahuje na

straně přilehlé a orientované směrem ke spodní části 2 první deformační plochu, ve které je uspořádán alespoň jeden nepřerušovaně probíhající zářez 6 pro uložení optického vlákna 9. V zářezu 6 je uspořádán alespoň jeden první deformační výstupek 5a, přičemž na obr. 1 a 4 je jich znázorněno více a jsou uspořádány v příkladné matici 6x3. První deformační výstupek 5a je nižší než hloubka zářezu 6 (srovnání řezu A-A na obr. 5 a řezu B-B na obr. 6) a je konfigurován tak, že přenesením tlakové síly přes vrchní část 1 pouzdra a první elasticky deformovatelný člen 3 na první deformační výstupek 5a a zatlačením prvního deformačního výstupku 5a na optické vlákno 9 je způsoben reverzibilní mikroohyb optického vlákna 9, což je obecně znázorněno i na obr. 12 v místě 28 vzniku mikroohybu spolu s místy 27 vzniku makroohybu. Tento jev je zaznamenán, přenesen z optického vlákna 9 přes rozhraní 7 a optický kabel 22 a zpracován do výstupního signálu ve vyhodnocovací jednotce 23. První deformační výstupek 5a je zhotoven z plastu (nekovový a měkký materiál), který zajišťuje odolnost vůči intenzivní elektrické nebo elektromagnetické interferenci a snižuje riziko poškození optického vlákna při vysokých zátěžích. Ve výhodném provedení je mezi první deformační plochou prvního elasticky deformovatelného členu 3 a spodní částí 2 pouzdra uspořádána neznázorněná plastová mezivrstva. Plastem může být kterýkoliv z materiálů jmenovaných výše, např. ASA, ABS, ABS-T, PC/ABS, PETG, PETG/CF, PEI nebo PU.

Druhým příkladem provedení je kompozitní optovláknový senzor 14 na obr. 2, obsahující všechny znaky prvního provedení z obr. 1, vyjma uspořádání plastové mezivrstvy. Uvedený kompozitní optovláknový senzor 14 dále obsahuje v pouzdře uložený druhý elasticky deformovatelný člen 4 (obr. 7), obsahující na straně orientované směrem k vrchní části 1 druhou deformační plochu přilehlou k první deformační ploše prvního elasticky deformovatelného členu 3. Na druhé deformační ploše je uspořádán alespoň jeden druhý deformační výstupek 5b tak, že po přiložení první a druhé deformační plochy k sobě vyčnívá do zářezu 6 pro uložení optického vlákna 9 (řez C-C na obr. 8) a mimo první deformační výstupek 5a. Na obr. 2 a 7 je znázorněno více druhých deformačních výstupků 5b a jsou uspořádány v příkladné matici 6x4. Druhý deformační výstupek 5b je konfigurován tak, že přenesením tlakové síly přes vrchní část 1, první elasticky deformovatelný člen 3 a první deformační výstupek 5a na optické vlákno 9 a zatlačením optického vlákna 9 na druhý deformační výstupek 5b je způsoben reverzibilní mikroohyb optického vlákna 9. Tento jev je zaznamenán, přenesen z optického vlákna 9 přes rozhraní 7 a optický kabel 22 a zpracován do podoby výstupního signálu ve vyhodnocovací jednotce 23. Druhý deformační výstupek 5b je rovněž zhotoven z plastu (nekovový a měkký materiál), který zajišťuje odolnost vůči intenzivní elektrické nebo elektromagnetické interferenci a snižuje riziko poškození optického vlákna při vysokých zátěžích. Ve výhodném provedení je mezi první deformační plochou prvního elasticky deformovatelného členu 3 a druhou deformační plochou druhého elasticky deformovatelného členu 4 uspořádána neznázorněná plastová mezivrstva. Plastem může být kterýkoliv z materiálů jmenovaných výše, např. ASA, ABS, ABS-T, PC/ABS, PETG, PETG/CF, PEI nebo PU.

Obr. 9 dále znázorňuje závislost změny intenzity světelného signálu na čase při průjezdu kola nad senzorem 14. Na obr. 9A jsou znázorněny průjezdy tří tramvají. Na obr. 9B je znázorněn detail průjezdu jedné tramvaje o třech dvojitých nápravách s celkem šesti železničními dvoukoly. Na obr. 9C je znázorněn detail průjezdu jedné dvojité nápravy obsahující dvě železniční dvoukola.

Obr. 10 dále znázorňuje uspořádání kompozitního optovláknového senzoru 14 podle prvního nebo druhého provedení, neznázorněné vyhodnocovací jednotky 23, kolejnice 10, podkladnice 12 a pražce 13. Senzor 14 je uložen pod patou 11 kolejnice 10 a na podkladnici 12. Oba konce optického vlákna 9 jsou propojeny s optickým kabelem 22, který je dále propojen s vyhodnocovací jednotkou 23 (viz obr. 11).

Na obr. 11 je znázorněno obecné uspořádání vyhodnocovací jednotky 23. Pro zpracování světelného signálu ze senzoru 14 vedeného optickým kabelem 22 se použije vyhodnocovací jednotka 23. Vyhodnocovací jednotka 23 obsahuje detektor 20 v podobě přijímací laserové diody, která je jednak opticky spojena s optickým kabelem 22 a dále se senzorem 14, a jednak elektricky

se zesilovačem 18. Zesilovač 18 je dále propojen s A/D převodníkem 16, který je dále propojen s procesorem 15 pro zpracování a vyhodnocování signálu, obsahujícím paměť 17 s nahranou softwarovou aplikací. Paměť 17 může být samostatnou součástí, nebo může využívat kombinace množství paměťových jednotek, a je s procesorem 15 propojena. Procesor 15 je připojen na zdroj 19 elektrického napětí a na výstupy 24 a datovou linku 25 pro indikaci výsledků vyhodnocení. Vyhodnocovací jednotka 23 dále obsahuje zdroj 21 světla v podobě vysílací laserové diody, která je napájena z elektrického zdroje 19 a zároveň je opticky propojena s optickým kabelem 22 a dále se senzorem 14. Tato vysílací laserová dioda slouží jako zdroj 21 vstupního světelného signálu, který je v případě zátěže na senzoru 14 změněn a takto změněný signál je přiveden na detektor 20.

A/D převodník 16 i zesilovač 18 lze vynechat, pokud je odpovídající převodník 16 přímo integrován do procesoru 15, respektive pokud je signál z přijímací laserové diody detektoru 20 zpracovatelný přímo A/D převodníkem 16 nebo procesorem 15.

Výsledek vyhodnocení může být předáván nadřazenému systému 26 buď stavově pomocí digitálních indikačních výstupů 24, nebo pomocí datové linky 25, kde se elektrický signál nebo data dále zpracují nebo se zobrazí výsledek. Datová linka 25 může být provedena ve formě digitálního komunikačního rozhraní jako je například RS485, případně jiného vhodného rozhraní.

Průmyslová využitelnost

Víceúčelový kompozitní optovláknový senzor kolejových vozidel je určen pro bodovou detekci železničních nebo tramvajových vozidel před návěstidlem, k řízení provozu v depech a vozovnách a tam, kde se vyskytují látky s nebezpečím výbuchu nebo požáru nebo kde dochází k silným interferencím s rušivými poli, které mají svůj původ v silných elektromagnetických polích. Ta způsobují výpadky a chyby v činnostech současných senzorů, které jsou založeny na principu měření elektrických parametrů těchto senzorů.

Dále lze senzor využít od náhrady indukčních smyček umístovaných ve výhybkách nebo v tramvajových vozovnách přes aplikace s automatickou aktivací světelných výstražných prvků v tramvajových přechodech nebo přejezdech až po aplikace určené k preferenci tramvajové dopravy. S využitím stejného principu snímání, ale s upraveným mechanickým řešením snímače a s doplněným softwarem pro signálové zpracování je možné provádět i diagnostiku chodu železniční výhybky, resp. přestavniku.

NÁROKY NA OCHRANU

1. Kompozitní optovláknový senzor (14) pro detekci tlakové síly vznikající průjezdem kola kolejevého vozidla, obsahující pouzdro (1, 2), první elasticky deformovatelný člen (3) uložený v pouzdře (1, 2), a optické vlákno (9) uložené v prvním elasticky deformovatelném členu (3) a propojitelné s vyhodnocovací jednotkou (23) obsahující zdroj (21) světla, detektor (20) a procesor (15), přičemž první elasticky deformovatelný člen (3) obsahuje na jedné straně první deformační plochu, ve které je uspořádán alespoň jeden nepřerušovaně probíhající zářez (6) pro uložení optického vlákna (9), přičemž v zářezu (6) je uspořádán alespoň jeden první deformační výstupek (5a), který je nižší než hloubka zářezu (6) a který je konfigurován tak, že přenesením tlakové síly přes pouzdro (1, 2) a první elasticky deformovatelný člen (3) na první deformační výstupek (5a) a zatlačením prvního deformačního výstupku (5a) na optické vlákno (9) je způsoben reverzibilní mikroohyb optického vlákna (9), **vyznačující se tím**, že první deformační výstupek (5a) je zhotoven z plastu.

2. Kompozitní optovláknový senzor (14) podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že obsahuje druhý elasticky deformovatelný člen (4) uložený v pouzdře (1, 2) a obsahující na jedné straně druhou deformační plochu přilehlou k první deformační ploše prvního elasticky deformovatelného členu (3), přičemž na druhé deformační ploše je uspořádán alespoň jeden druhý deformační výstupek (5b) tak, že po přiložení první a druhé deformační plochy k sobě vyčnívá do zářezu (6) pro uložení optického vlákna (9) a mimo první deformační výstupek (5a), přičemž druhý deformační výstupek (5b) je konfigurován tak, že přenesením tlakové síly přes pouzdro (1, 2), první elasticky deformovatelný člen (3) a první deformační výstupek (5a) na optické vlákno (9) a zatlačením optického vlákna (9) na druhý deformační výstupek (5b) je způsoben reverzibilní mikroohyb optického vlákna (9), přičemž druhý deformační výstupek (5a) je zhotoven z plastu.

3. Kompozitní optovláknový senzor (14) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že první a/nebo druhé deformační výstupky (5a, 5b) jsou uspořádány v matici.

4. Kompozitní optovláknový senzor (14) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že první a/nebo druhé deformační výstupky (5a, 5b) jsou zhotoveny z plastu zvoleného ze skupiny obsahující poly(akrylonitril-co-styren-co-akrylát), poly(akrylonitril-co-butadien-co-styren), poly(akrylonitril-co-butadien-co-styren-co-methyl-methakrylát), směs polykarbonátu a poly(akrylonitril-co-butadien-co-styrenu), poly(ethylen-co-tereftalát) s modifikací glykolu, směs poly(ethylen-co-tereftalátu) s modifikací glykolu a karbonových vláken, poly(etherimid) a polyurethan.

5. Kompozitní optovláknový senzor (14) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že zářez (6) pro uložení optického vlákna (9) je lineárně probíhající a/nebo zakřivený.

6. Kompozitní optovláknový senzor (14) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že optické vlákno (9) je mnohovidové.

7. Kompozitní optovláknový senzor (14) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že pouzdro (1, 2), první elasticky deformovatelný člen (3) a druhý elasticky deformovatelný člen (4) jsou zhotoveny z elasticky deformovatelného materiálu, zejména z pryže.

8. Kompozitní optovláknový senzor (14) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že pouzdro (1, 2) obsahuje vrchní část a spodní část, přičemž vrchní část obsahuje dva vystupující protilehlé okraje (8) přesahující přes spodní část.

9. Kompozitní optovláknový senzor (14) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že vrchní část pouzdra (1, 2) obsahuje ochranné prvky pro ochranu propojení optického vlákna (9).

10. Kompozitní optovláknový senzor (14) podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že mezi první deformační plochou prvního elasticky deformovatelného členu (3) a spodní částí pouzdra (1, 2), nebo mezi první deformační plochou prvního elasticky deformovatelného členu (3) a druhou deformační plochou druhého elasticky deformovatelného členu (4) je uspořádána plastová mezivrstva, s výhodou zhotovená z poly(ethylen-tereftalátu) s modifikací glykolu.

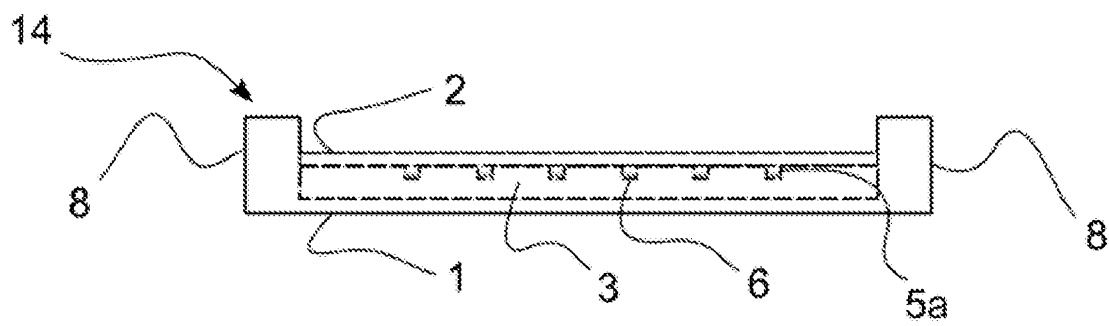
11. Uspořádání kompozitního optovláknového senzoru (14) pro detekci tlakové síly vznikající průjezdem kola kolejového vozidla podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že kompozitní optovláknový senzor (14) je uložen pod patou (11) kolejnice (10) a na podkladnici (12), přičemž oba konce jeho optického vlákna (9) jsou propojeny s optickým kabelem (22), který je dále propojen s vyhodnocovací jednotkou (23) obsahující zdroj (21) světla, detektor (20) a procesor (15).

14 výkresů

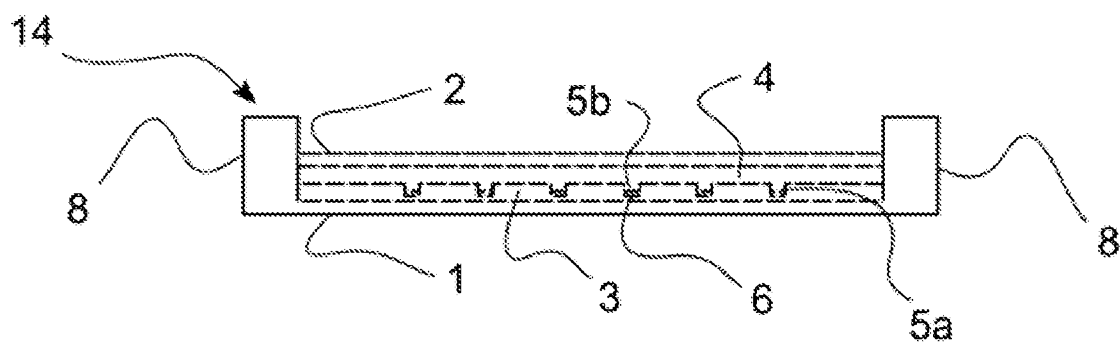
Seznam vztahových značek:

- 1 pouzdro, vrchní část
- 2 pouzdro, spodní část
- 3 první elasticky deformovatelný člen
- 4 druhý elasticky deformovatelný člen
- 5a první deformační výstupek
- 5b druhý deformační výstupek
- 6 zářez pro optické vlákno
- 7 rozhraní optického vlákna a optického kabelu
- 8 okraj vrchní části pouzdra
- 9 optické vlákno
- 10 kolejnice
- 11 pata kolejnice
- 12 podkladnice
- 13 pražec
- 14 kompozitní optovláknový senzor
- 15 procesor
- 16 A/D převodník
- 17 paměť

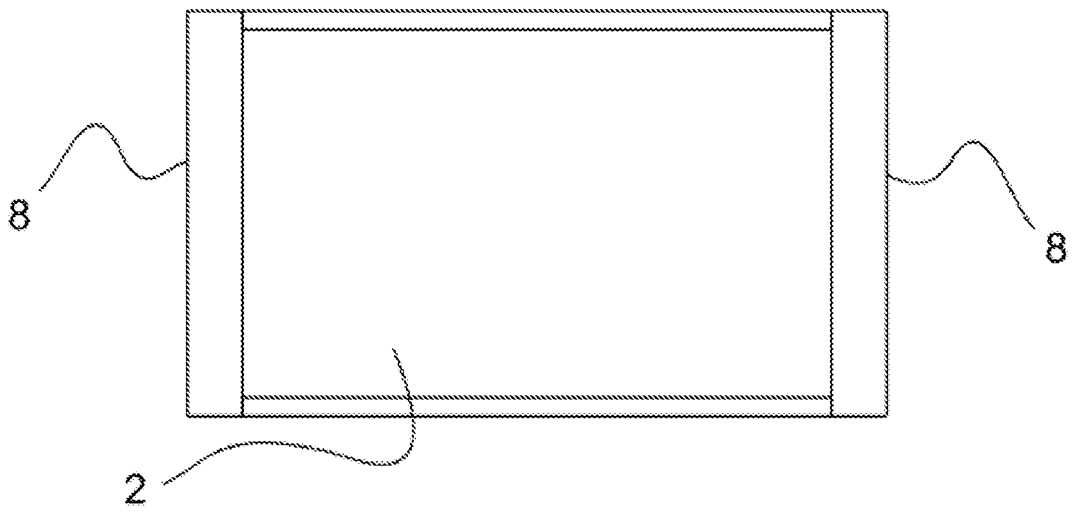
- 18 zesilovač
- 19 zdroj elektrické energie
- 20 detektor
- 21 zdroj světla
- 22 optický kabel
- 23 vyhodnocovací jednotka
- 24 indikační výstupy výsledku detekce
- 25 datová linka pro předávání výsledku detekce
- 26 nadřazený systém
- 27 místo vzniku makroohybu
- 28 místo vzniku mikroohybu



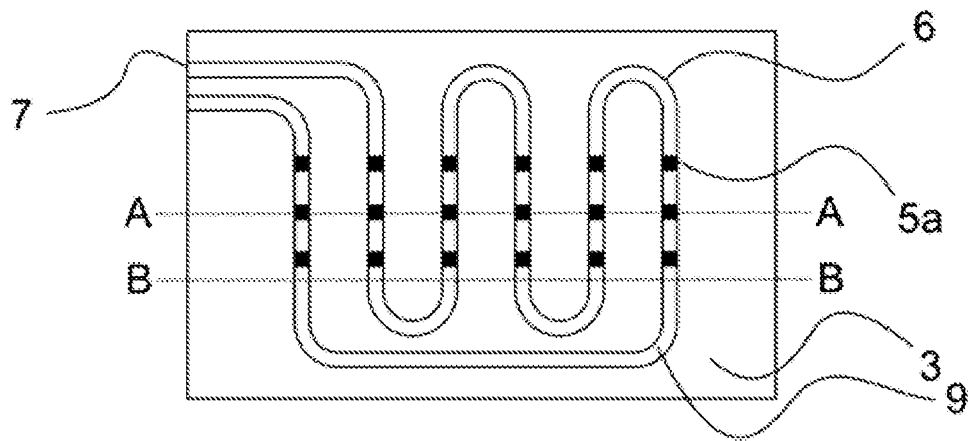
Obr. 1



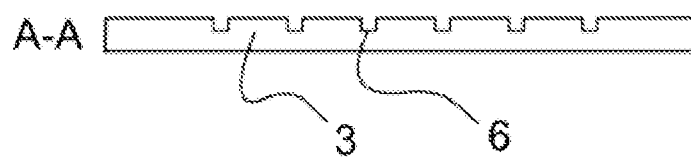
Obr. 2



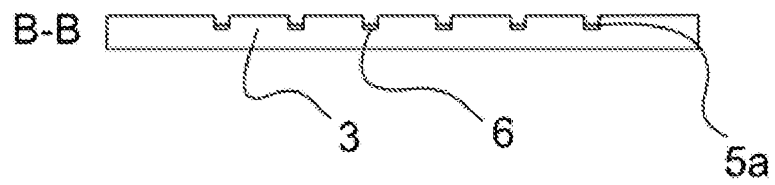
Obr. 3



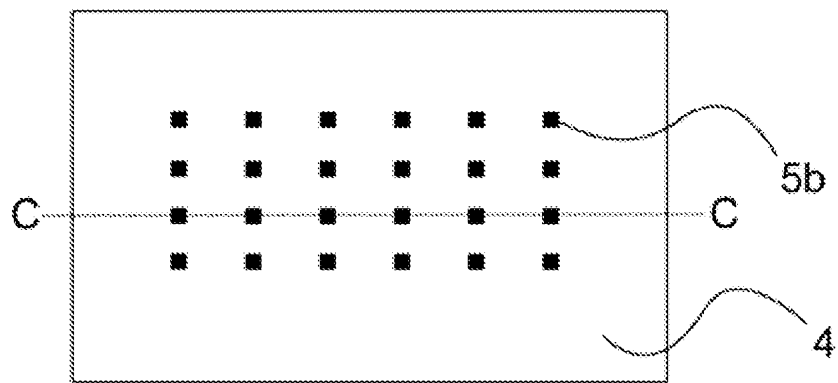
Obr. 4



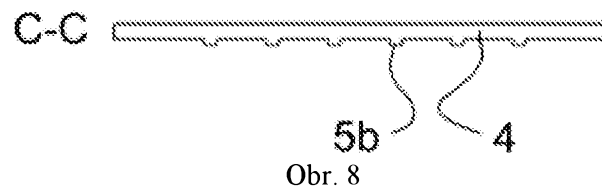
Obr. 5

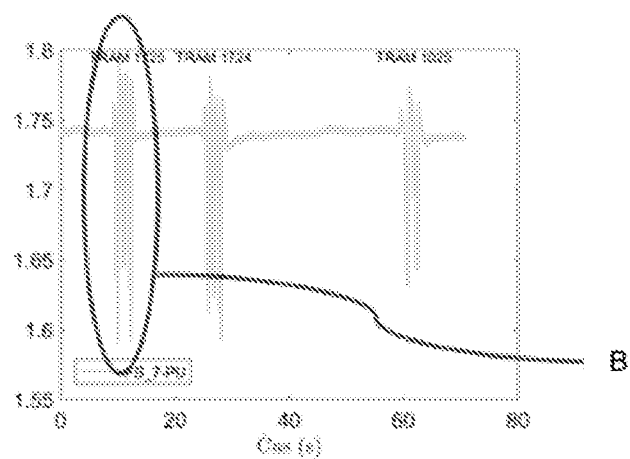


Obr. 6

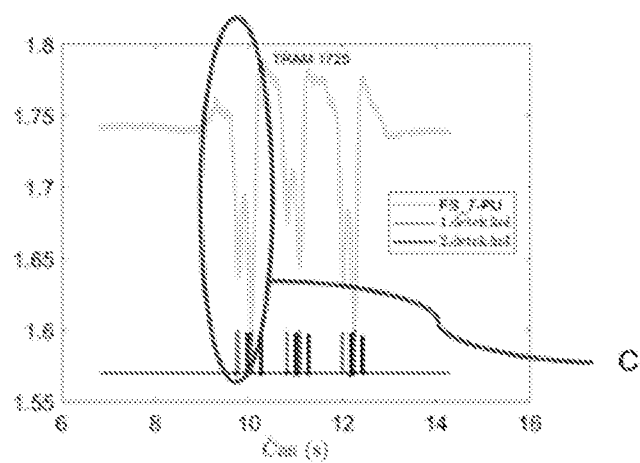


Obr. 7

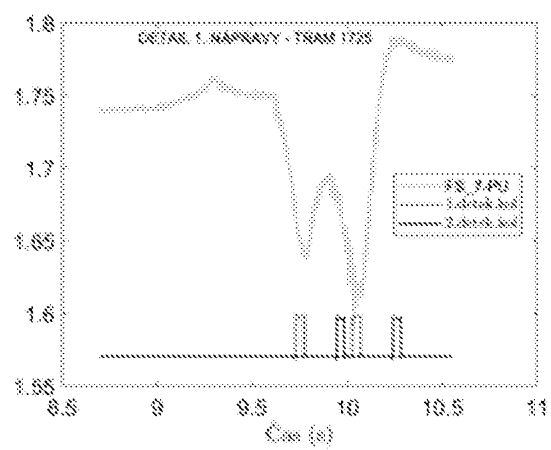




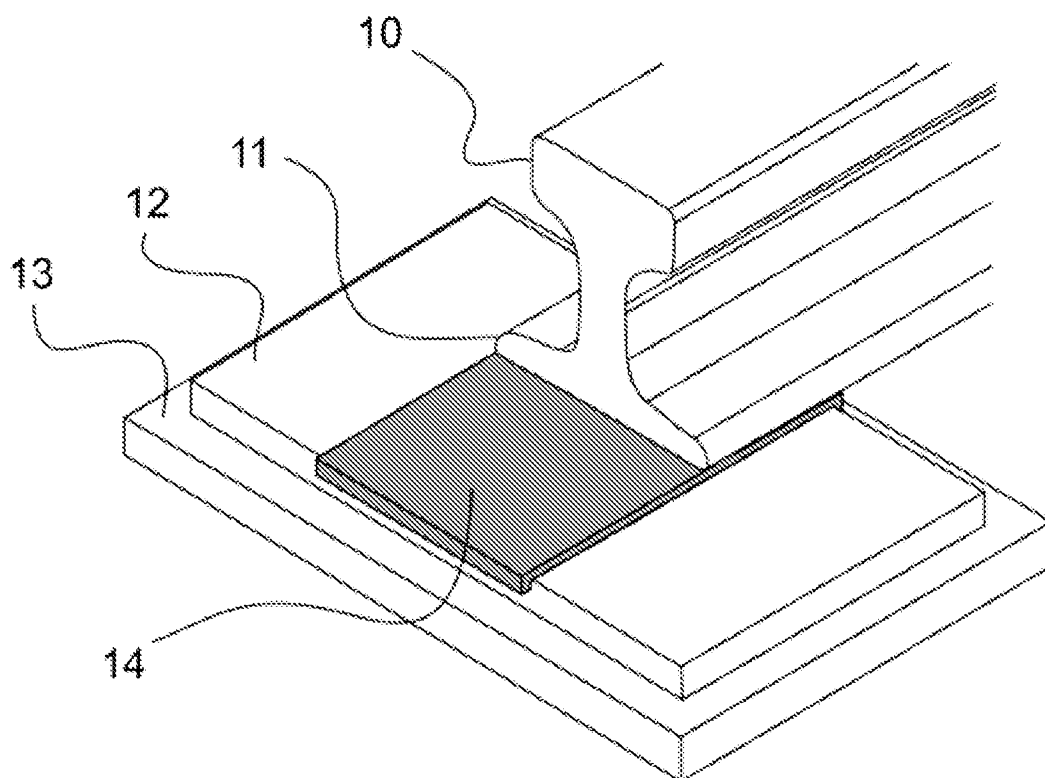
Obr. 9 A



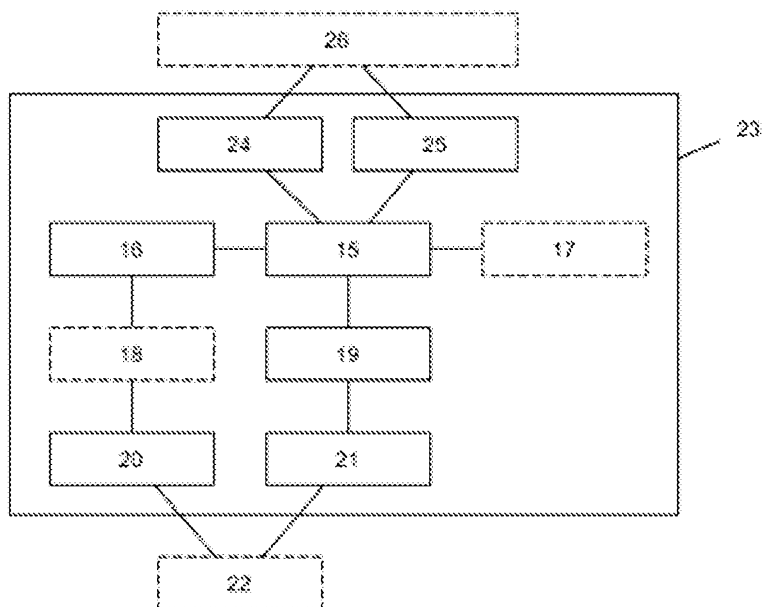
Obr. 9 B



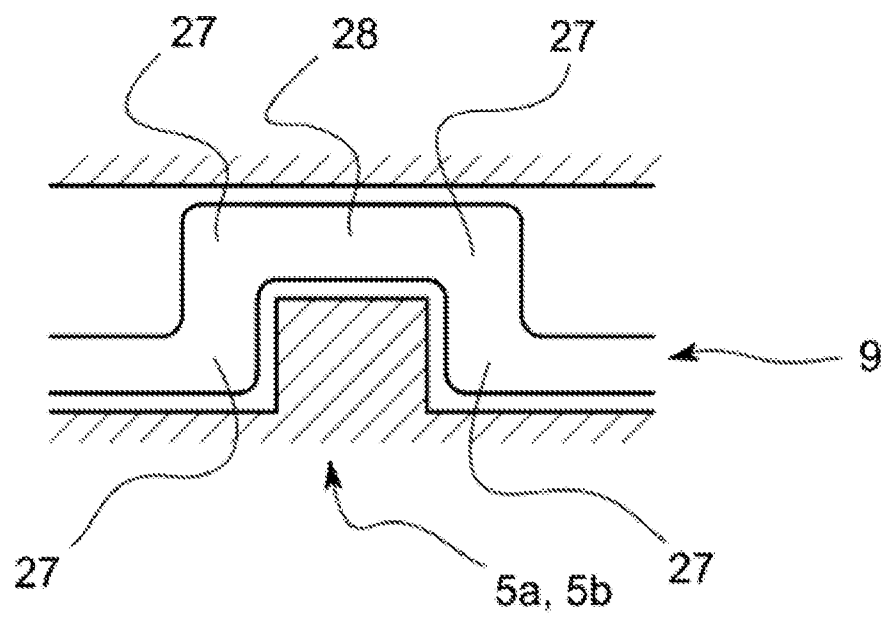
Obr. 9 C



Obr. 10



Obr. 11



Obr. 12