



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV FYZIKÁLNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PHYSICAL ENGINEERING

SYSTÉM PRO KONTROLU ROZMĚRŮ TRANSPORTNÍHO NOSIČE

SYSTEM FOR MEASURING OF PINTRACK DIMENSIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR VODIČKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN ANTOŠ, Ph.D.

Vysoké uèení technické v Brnì, Fakulta strojního inženýrství

Ústav fyzikálního inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁØSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Vodièka

který/která studuje v **bakaláøském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Øeditel ústavu Vám v souladu se zákonem è.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním øádem VUT v Brnì urèuje následující téma bakaláøské práce:

System pro kontrolu rozmìrù transportního nosièe

v anglickém jazyce:

System for measuring of pintrack dimensions

Struèná charakteristika problematiky úkolu:

Na základì rešeršního prùzkumu komerèních systémù pro bezkontaktní mìøení délek navrhnièe mìøící systém pro rozmìrovou kontrolu transportního nosièe cívek skelného vlákna.

Cíle bakaláøské práce:

1. Proveíte rešeršní prùzkum vybraných systémù vhodných pro rozmìrovou kontrolu ocelových konstrukcí.
2. Vyberte vhodný typ detektoru pro úèely kontroly klíèových rozmìrù transportního nosièe cívek skelného vlákna.
3. Navrhnièe metodiku hodnocení stavu promìøeného nosièe.
4. Vypracujte podklady potøebné k realizaci zkušební varianty mìøícího systému.

Seznam odborné literatury:

[1] ĀaĀo, S., Kreidl, M. Senzory a mĀĀící obvody. Praha, Vydavatelství ĒVUT, 1996.

Vedoucí bakalĀøské práce: Ing. Martin Antoř, Ph.D.

TermĀn odevzdĀnĀi bakalĀøské práce je stanoven ěasovĀm plĀnem akademickěho roku 2014/2015.

V BrnĀ, dne 25.11.2014

L.S.

prof. RNDr. TomĀř řikola, CSc.
Āeditel ůstavu

doc. Ing. Jaroslav KatolickĀ, Ph.D.
ĀĀkan fakulty

Abstrakt

V bakalářské práci je zpracována rešerše týkající se průmyslově používaných senzorů pro bezkontaktní měření vzdálenosti, základní fyzikální principy detekce polohy či tvaru a popsány systémy vhodné pro měření ocelových konstrukcí. Je popsána geometrie transportního nosiče a jsou klasifikovány způsoby jeho možné deformace. Je navrhnut měřicí systém pro zjištění míry deformace transportního nosiče s cílem posoudit vhodnost jeho dalšího použití. Pro realizaci systému je vybrán a ozkoušen vhodný senzor a vypracována výrobní dokumentace měřicí brány.

Summary

In this bachelor thesis is processed a summary of contactless sensors for length measurement, that are commonly used in industry, it's physical principals and are described systems for measure dimensions of a steel construction. There is decription of a steel carrier and clasified ways the carrier can be deformed. A measuring gate for evaluation of status of steel carrier is designed and propper sensors are chosen and tested.

Klíčová slova

Bezkontaktní senzory pro měření vzdálenosti, fyzikální principy senzorů, pintrack, konstrukce pro umístění senzorů.

Keywords

Contactless sensors for length measurement, physical principal of sensors, pintrack, frame for sensors placement.

VODIČKA, P. *Systém pro kontrolu rozměrů transportního nosiče*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 38 s. Vedoucí Ing. Martin Antoš, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Antoše, Ph.D. s použitím materiálů uvedených v seznamu literatury.

Petr Vodička

Obsah

1 Úvod	2
2 Bezkontaktní senzory vzdálenosti	3
2.1 Princip	3
2.2 Indukční senzory	4
2.3 Ultrazvukové senzory	7
2.4 Optické senzory	10
2.4.1 Triangulační senzory	12
2.4.2 Měření doby letu vlny	13
2.4.3 Měření pomocí fázového posunu	13
2.5 Shrnutí	14
3 Systémy pro kontrolu rozměrů	15
3.1 Měření pomocí optické mříže	15
3.2 3D skener	16
3.3 Kamerový vyhodnocovací systém	17
4 Sledované parametry pintracků	19
5 Provozní požadavky na měřicí systém	21
6 Metodika měření rozměrů pintracku	23
7 Návrh měřicího systému	26
7.1 Měřicí brána	27
7.2 Výběr senzorů	29
7.3 Měření	29
8 Závěr	34
9 Seznam použitých zkratk a symbolů	37
10 Seznam příloh	38

1. Úvod

Senzory pro měření vzdáleností jsou dnes velmi důležitou součástí mnoha strojírenských aplikací. Jsou často používány při kontrole jakosti, provádění údržby, či v automatizaci. Význam a použití senzorů pro měření vzdáleností stále roste a to například kvůli stále většímu stupni automatizace výrobních procesů, nebo potřebě digitalizovat reálné objekty.

Senzory se dělí na kontaktní a bezkontaktní. U kontaktních senzorů je nutný styk samotného senzoru se snímaným předmětem, může tak dojít k poškození senzoru nebo předmětu. Pokud není možné, nebo žádané, použití kontaktních senzorů, aplikují se senzory bezkontaktní. Podstatnou výhodou bezkontaktních senzorů je jejich velký měřicí rozsah, který může dosahovat až řádu kilometrů. Bezkontaktní senzory dělíme podle principu na kterém fungují. Každý typ senzoru má své výhody, nevýhody a omezení, jež je třeba uvažovat při konkrétní aplikaci. Mezi základní typy senzorů patří optické, ultrazvukové, indukční, kapacitní a magnetické.

Spojením několika bezkontaktních senzorů, nebo realizací jejich pohybu dostáváme systémy pro měření rozměrů. Tyto systémy poskytují více informací o geometrii snímaného předmětu, v případě použití 3D skeneru pak můžeme sestavit virtuální 3D model. Pomocí získaných můžeme posoudit zda-li je geometrie snímaného předmětu uspokojivá či nikoli. Systémy pro měření rozměrů se dnes nejčastěji používají v automobilovém průmyslu, například při kontrole geometrie karoserie, umístování prvků nebo nastavování svítilen.

Práce se skládá z rešerše na téma bezkontaktní senzory a systémy pro vyhodnocování rozměrů a z praktické části obsahující popis transportního nosiče, jeho možné deformace, návrh měřicí brány, výběr senzoru a otestování vhodnosti použití vybraného senzoru.

Cílem práce je navrhnout měřicí systém, který bude vyhodnocovat vhodnost dalšího použití transportních nosičů skelného vlákna v závodě firmy SAINT-GOBAIN ADFORS v Hodonicích. Návrh na zkonstruování měřicího systému vzešel od vedoucího sekce údržby s cílem snížit počet nehod zapříčiněných nevyhovující geometrií transportních nosičů. Ke splnění vytyčených cílů bakalářské práce musíme provést následující:

- Stanovit kontrolované parametry transportních nosičů.
- Definovat provozní požadavky na měřicí systém.
- Navrhnout vhodnou metodiku hodnocení stavu transportního nosiče.
- Vybrat vhodný senzor pro rozměrovou kontrolu.
- Vypracovat výkresovou dokumentaci potřebnou k realizaci.

Způsoby řešení jednotlivých etap návrhu vyplývají z následujících kapitol.

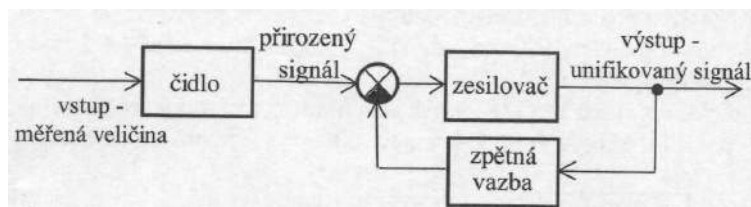
2. Bezkontaktní senzory vzdálenosti

V následujícím textu je proveden rešeršní průzkum současného stavu průmyslových senzorů vhodných pro rozměrovou analýzu strojních součástí. Jsou zde analyzovány fyzikální principy vybraných senzorů a jsou komentovány jejich přednosti a nedostatky.

2.1. Princip

Senzory jsou základní prvky, které podávají informaci o stavu a činnosti technického zařízení. Převádí určitou fyzikální veličinu na vstupu na elektrickou (výstupní) veličinu. Tvoří zpětnou vazbu mezi zařízením a řídicím systémem [1]. Polohové senzory podávají informaci o poloze objektů. Získanou informaci převádějí na elektrický signál, který je poslán řídicí jednotce na zpracování. Přenos může být realizován buď analogově, nebo binárně. Buď se přenáší informace o přesné vzdálenosti snímaného povrchu od senzoru, nebo se vygeneruje signál pouze tehdy, překročí-li vzdálenost určitou mez. Většinou stačí pouze hlášení o překročení určité meze nebo zjištění přítomnosti materiálu, proto je v praxi analogových senzorů mnohem méně ([2], str. 12).

Základní komponentou senzoru je čidlo (snímač), které převádí měřenou veličinu na signál putující do zesilovače. Zesilovač má většinou zápornou zpětnou vazbu, kterou se, při dostatečně velkém zesílení, eliminují veškeré jeho negativní vlivy. Výstupem ze senzoru je dostatečně silný, unifikovaný signál, který je zpracováván vyhodnocovací elektronikou ([1], str. 17). Situace je znázorněna na obr. 1.



Obr. 1 Schéma senzoru. Převzato z ([1], str. 17).

Konstrukčně dělíme senzory na 2 skupiny:

- Aktivní - snímače působením měřené veličiny generují elektrický proud.
- Pasivní - snímače působením měřené veličiny mění některý ze svých parametrů. Ke své práci potřebují zdroj energie.

Senzory pro určování polohy se řadí mezi pasivní. Nejblíže k aktivním senzorům má indukční snímač, který při provozu elektrický proud generuje. Pro svůj provoz však potřebuje zdroj energie, takže se mezi pasivní řadit nedá ([3], str. 13). V tabulce č. 1 jsou vypsány základní požadavky kladené na senzory.

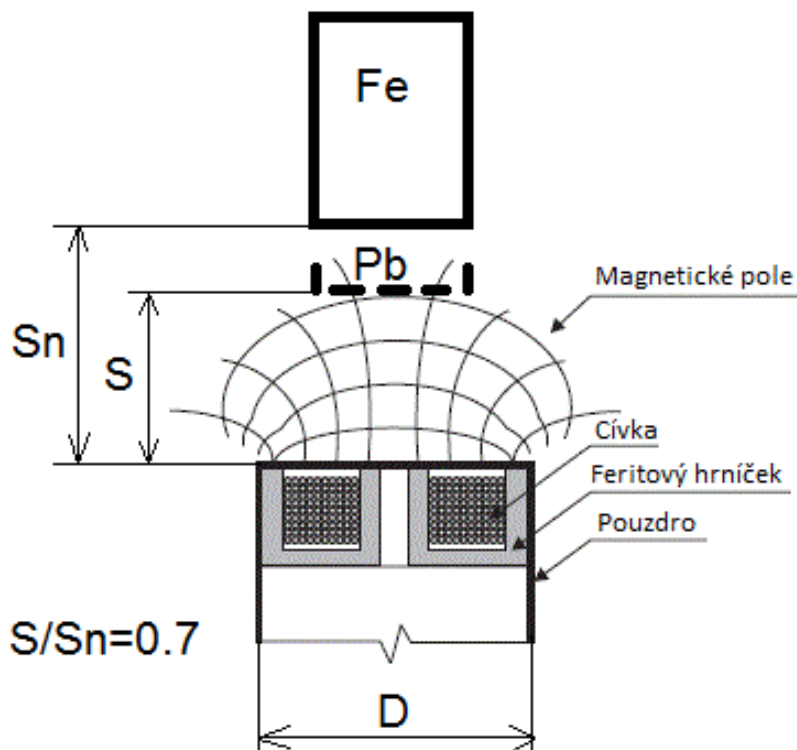
2.2. INDUKČNÍ SENZORY

Tabulka č. 1 Základní požadavky kladené na senzory [4].

Bezpečnost provozu	Dlouhá životnost
Jednoznačná závislost výstupní veličiny na vstupní	Přesnost
Reprodukovatelnost výsledků	Časová nezávislost parametrů
Vhodný tvar statické charakteristiky	Minimální závislost na okolí
Jednoduchá konstrukce	Snadná údržba
Minimální ovlivnění snímaného objektu	Nízká cena

2.2. Indukční senzory

Indukční senzory fungují na principu elektromagnetické indukce. Aktivním prvkem senzoru je u základního provedení cívka umístěná ve feritovém hrníčku (obr. 2). Vysokofrekvenční oscilátor generuje střídavý proud, který po průchodu cívkou vytváří magnetické pole. Pokud se v blízkosti magnetického pole nachází předmět z elektricky vodivého materiálu, dojde ke změně magnetického pole a indukci výřivých proudů v předmětu. Změna magnetického pole, zapříčiněná výřivými proudy, zpětně působí na cívku a mění její impedanci. Změna impedance je vyhodnocena elektronikou senzoru a po zesílení převedena na unifikovaný signál. Z principu metody tedy vyplývá, že senzor dokáže detekovat pouze elektricky vodivé materiály.



Obr. 2 Schéma indukčního senzoru a spínací vzdálenosti. Převazato a upraveno z [5].

2. BEZKONTAKTNÍ SENZORY VZDÁLENOSTI

Spínací vzdálenost je vzdálenost předmětu od senzoru, při které dojde u binárních senzorů ke změně na výstupu.

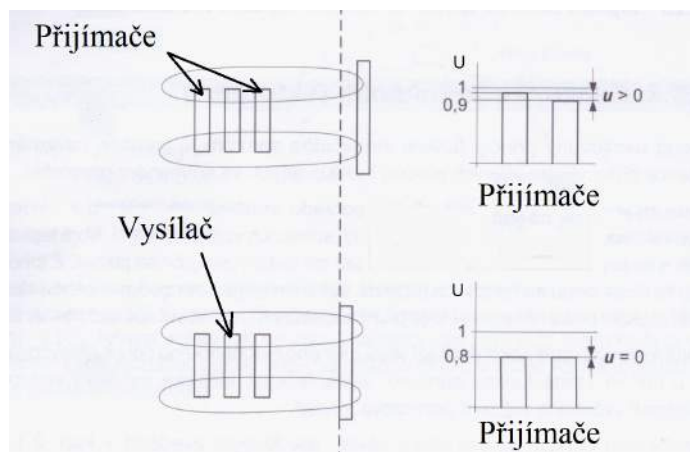
Změna elektrické impedance cívky je funkcí jak vzdálenosti, tak materiálu, ze kterého je snímáný předmět vyroben. Největší změnu magnetického pole vyvolá předmět z konstrukční oceli, má tedy i největší možnou spínací vzdálenost S_n . Spínací vzdálenosti předmětů z jiných materiálů se porovnávají se spínací vzdáleností pro konstrukční ocel a zavádí se redukční faktor $R = S/S_n$. Redukční faktory některých materiálů jsou vypsány v tabulce č. 2. Je zřejmé, že i analogové senzory budou měřit jiné vzdálenosti, jestliže předměty budou z různých materiálů, proto musíme redukční faktor uvažovat při konkrétní technické aplikaci. Skutečnost, že spínací vzdálenost je funkcí materiálu umožňuje indukčním sensorům určit i materiál, ze kterého je měřený předmět vyroben.

Před deseti lety dosahovaly indukční senzory spínacího rozsahu maximálně 60 mm (viz [2], str. 20). Dnes to není o mnoho více. Senzory společnosti Micro-Epsilon mají dosah maximálně 80 mm ([6], str. 15), protože dosah závisí i na velikosti cívky, která je z praktických důvodů omezená ([2], str. 20).

Tabulka č. 2 Redukční faktory některých materiálů ([2], str. 20).

Materiál	Konstrukční ocel	Nerezová ocel	Olovo	Mosaz	Měď
Redukční faktor	1	0,7	0,6	0,45	0,3

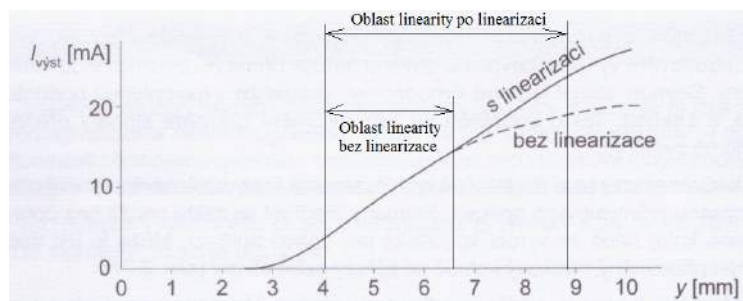
Indukční senzory se často vyskytují v třícívkovém provedení. Cívky jsou uspořádány v řadě a nemají feritové jádro. Prostřední cívka je napojena na oscilační obvod a slouží jako vysílač vytvářející magnetické pole, kterým je ovlivněn předmět. Zbylé dvě cívky slouží jako přijímače, liší se počtem závitů, a tudíž se na nich indukuje jiné napětí. Napětí získaná z přijímacích cívek se odčítají a výsledkem je zbytkové napětí, ze kterého lze určit vzdálenost. Protože zbytkové napětí je rozdílem napětí, není spínací vzdálenost funkcí materiálu a redukční faktor je vždy roven 1. Na obrázku 3 je vidět změna zbytkového napětí v závislosti na vzdálenosti.



Obr. 3 Třícívkové provedení. Převzato a upraveno z ([2], str. 32).

2.2. INDUKČNÍ SENZORY

Vzdálenost u indukčních senzorů je funkcí výstupního proudu či napětí, která je v pracovním rozsahu přibližně lineární. U vyšších vzdáleností musí být funkce, kvůli zajištění přesnosti měření, linearizována. Na obrázku 4 je vidět oblast linearity a výstupní proud bez linearizace a s linearizací ([2], str. 18-52).



Obr. 4 Velikost výstupního proudu jako funkce vzdálenosti. Převzato a upraveno z ([2], str. 38).

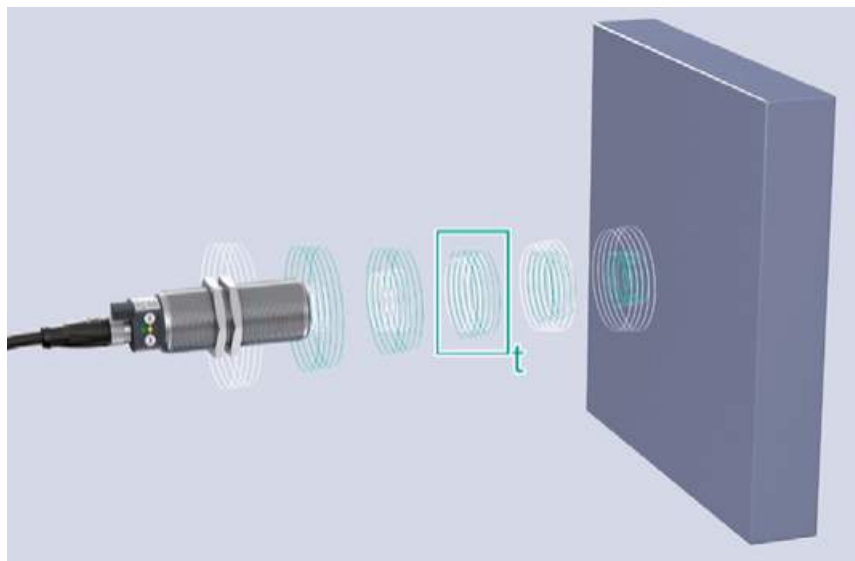
Mezi výhody indukčních senzorů patří zpravidla vysoká životnost a vysoké rozlišení, dobrá linearita, teplotní stabilita, možnost práce v extrémních podmínkách nebo stabilita měřicího signálu. K nevýhodám řadíme například malý měřicí rozsah, možnost snímat pouze elektricky vodivé materiály a rozdílná citlivost pro různé materiály. Na obr. 5 jsou vyobrazeny různé indukční senzory a uvedeny jejich parametry ([6], str. 14).

		
eddyNCDT 3010 Levný jednonábový systém pro průmyslové aplikace	eddyNCDT 3100 Přesný systém na bázi vířivých proudů s Ethernetem pro průmyslové použití	eddyNCDT 3300 Inteligentní jednonábový systém na bázi vířivých proudů pro velmi přesné měření
Měřicí rozsahy 0,5 - 15 mm	Měřicí rozsahy 0,5 - 15 mm	Měřicí rozsahy 0,4 - 80 mm
Linearita $\pm 0,25$ %	Linearita $\pm 0,25$ %	Linearita $\pm 0,2$ %
Rozlišení 0,005 %	Rozlišení 0,005 %	Rozlišení 0,005 %
Mezní frekvence 25 kHz (-3dB)	Mezní frekvence 25 kHz (-3dB)	Mezní frekvence 100 kHz (-3 dB)
	Konfigurace přes webový prohlížeč (Ethernet)	Standardní a miniaturní senzory

Obr. 5 Příklady indukčních senzorů. Převzato z [6].

2.3. Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory, jak už název napovídá, pracují s ultrazvukem, tedy zvukem s frekvencí vyšší než 16 kHz. Jako vysílací prvek se používá piezoelektrický měnič, který vysílá zvukový signál v určitém směru. Signál se šíří prostředím dokud nenarazí na předmět od kterého by se mohl odrazit. Odražený signál se šíří zpátky k měniči, který ho zachytí a změří dobu, která uplynula mezi jeho vysláním a přijetím (viz obr. 6). Samotná odezva je detekována buď stejným měničem, který vyslal původní zvukový signál, nebo měničem samostatným. Provedení společného vysílače a přijímače je častější [7].



Obr. 6 Ultrazvukový senzor. Převzato z [7].

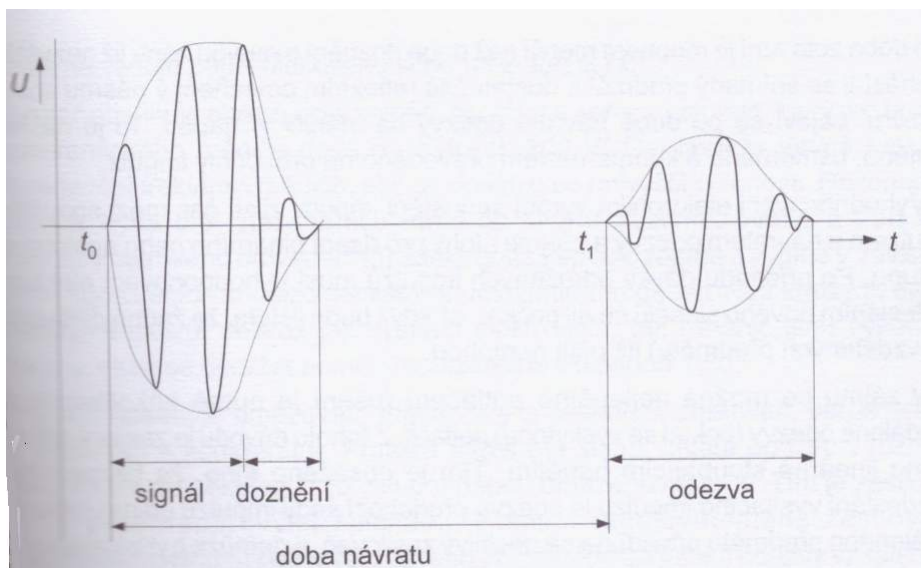
K výpočtu vzdálenosti l se pak použije vzorce:

$$l = \frac{t \cdot c}{2}$$

kde t je doba letu vlny a c její rychlost v daném prostředí.

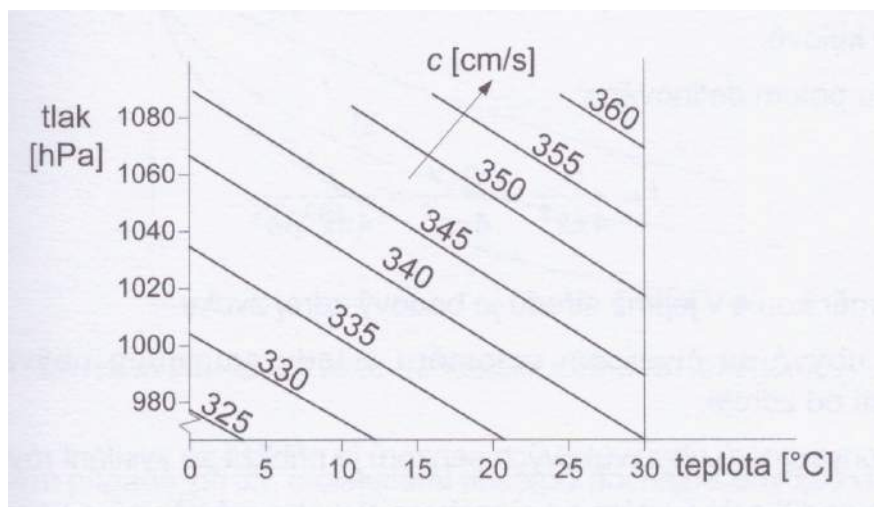
Piezoelektrický měnič se skládá z krystalů, které při průchodu proudem mění své rozměry. Při průchodu střídavého proudu pak kmitají, jsou zdrojem mechanického vlnění. Princip funguje i obráceně, takže vysílač může zároveň fungovat jako přijímač. Při vysílání signálu se krystaly rozkmitají, ale kvůli setrvačnosti kmitají i krátkou dobu po přerušení elektrického signálu. Po vyslání signálu musí senzor čekat než měnič dokmitá. Teprve až je amplituda odezvy větší než amplituda doznívajícího měniče, může ji senzor zaznamenat. Situace je znázorněna na obrázku č. 7. Důsledkem setrvačnosti měniče je fakt, že senzory nejsou schopny detekovat předměty v těsné blízkosti. V praxi se vyskytují i senzory se dvěma měniči pro které zmíněné omezení neplatí ([2], str. 87).

2.3. ULTRAZVUKOVÉ SENZORY



Obr. 7 Napětí na měniči při vyslání a detekci signálu. Převzato z ([2], str. 91).

Naměřený interval mezi vysláním signálu a změřením odezvy nezávisí pouze na vzdálenosti, ale také na rychlosti zvuku v konkrétním prostředí. Tím je nejčastěji vzduch, u kterého se rychlost šíření mění jak s teplotou, tak s atmosferickým tlakem. Pokud chceme dosáhnout velmi vysoké přesnosti měření, musíme tyto veličiny uvažovat při výpočtu vzdálenosti. Vliv teploty a tlaku na velikost rychlosti je zřejmý z obr. 8.

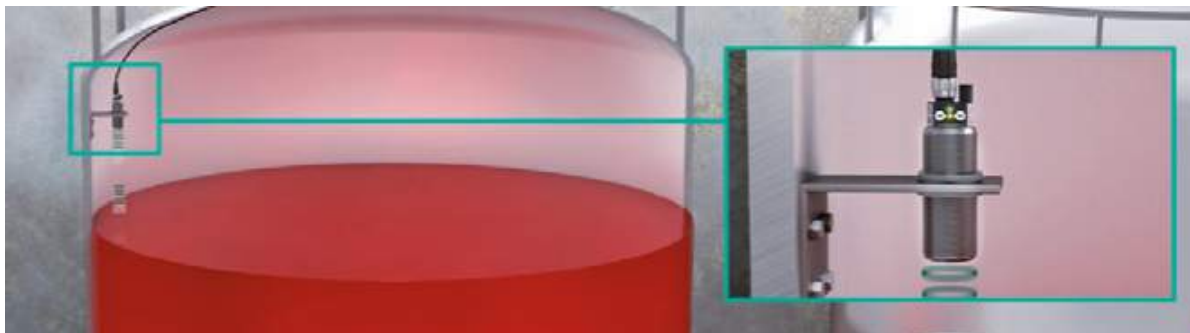


Obr. 8 Vliv tlaku a teploty na rychlost šíření zvuku. Převzato z ([2], str. 83).

Při použití senzorů se musí brát ohled na strukturu povrchu a natočení snímaných objektů jelikož výrazně ovlivňují měřicí rozsah. Největšího rozsahu je dosaženo při snímání rovinných povrchů kolmých na směr šíření zvuku, menších rozsahů u povrchů porézních nebo rovinných, nevhodně orientovaných. Ultrazvukové senzory se nejčastěji používají tam, kde nelze efektivně použít běžné optické senzory [7].

2. BEZKONTAKTNÍ SENZORY VZDÁLENOSTI

Mezi výhody ultrazvukových senzorů patří detekce průhledných povrchů, možnost měřit výšku hladiny, nebo schopnost pracovat v prašném či vlhkém prostředí. Za nevýhody lze považovat vyšší cenu, závislost na atmosferických podmínkách nebo fakt, že nelze měřit v blízkosti čidla. Ultrazvukové senzory z principu také nemohou měřit ve vakuu. Na obrázku č. 9 je příklad typické aplikace - měření výšky hladiny a na obr. 10 příklad konkrétního senzoru.



Obr. 9 Měření výšky hladiny. Převzato z [7].



Měřicí rozsah:	25-400 mm
Rozlišení:	1,0 mm
Přesnost měření:	+/- 5%
Cena:	9265 Kč

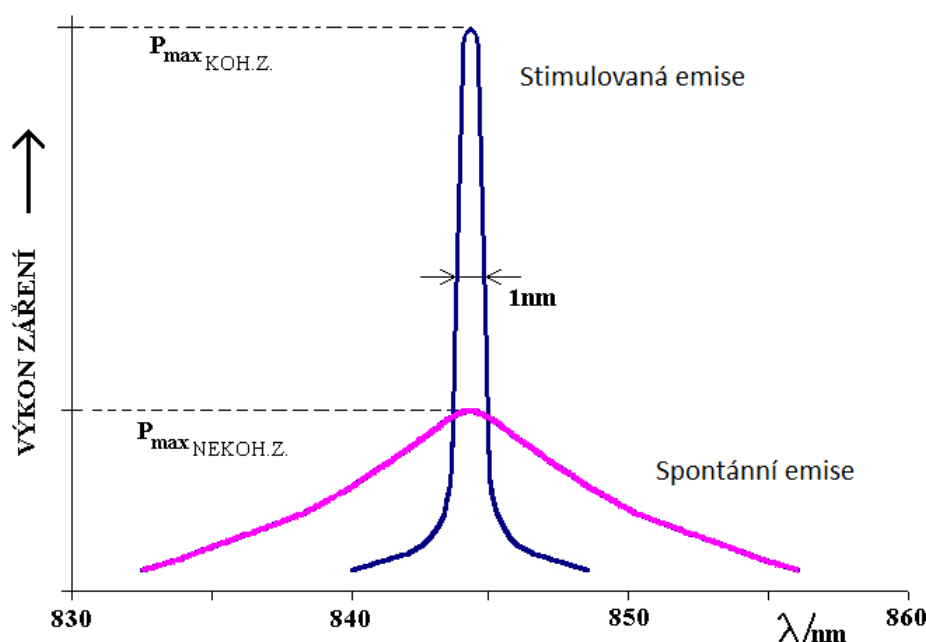
Obr. 10 Ultrazvukový senzor DMU418B-400.X3/LTC-M12. Převzato a upraveno z [8].

2.4. Optické senzory

Optické senzory tvoří nejpoužívanější skupinu senzorů v technické praxi. Mohou mít velmi vysokou rozlišovací schopnost, limitovanou pouze jevy při ohybu světla ([1], str.40). Jako vysílače dříve sloužily obyčejné žárovky, co by přijímače fotobuňky nebo fotorezistory. Možnosti senzorů byly vlivem špatných vlastností žárovek značně omezené. Dnes jako vysílače nejčastěji slouží LED nebo laserové diody. K přijímání se používají fotorezistory, fotodiody a diody s laterálním efektem ([2], str. 111).

LED dioda je polovodičová součástka obsahující jeden P-N přechod. Průchodem elektrického proudu v propustném směru jsou elektrony přemísťovány z P do N vrstvy. Při obráceném procesu je dodaná energie vyzařena ve formě světla s celým spektrem vlnových délek, dochází ke spontánní emisi. Vyzářené světlo pak musí být usměrněno optickým zařízením ([2], str. 112-114).

Laserové diody také obsahují P-N přechod, nedochází zde však ke spontánní emisi. Emise je v tomto případě, kvůli přítomnosti rezonátoru, stimulovaná. Rezonátor je dutina s odrazivými plochami, ve které dochází vlivem destruktivní a nedestruktivní interference vln k ustálení a zesílení elektromagnetického pole. Rezonátor také tvoří optickou zpětnou vazbu, která umožňuje stimulovanou emisi. Ve výsledku získáme světlo o určité fázi a frekvenci. Na obrázku 11 je vidět rozsah vyzařovaných vlnových délek při emisi spontánní (LED zdroji) a stimulovanou (laserové diody) [9]. Laserová dioda má oproti LED mnohem menší průměr zobrazeného bodu, což je žádané pro vyhodnocování signálu. Nevýhodou laserové diody je silná závislost prahového proudu (proudu nutného pro dosažení stimulované emise) na teplotě. Do laseru musí být kvůli regulaci zintegrováno čidlo teploty ([2], str. 118).



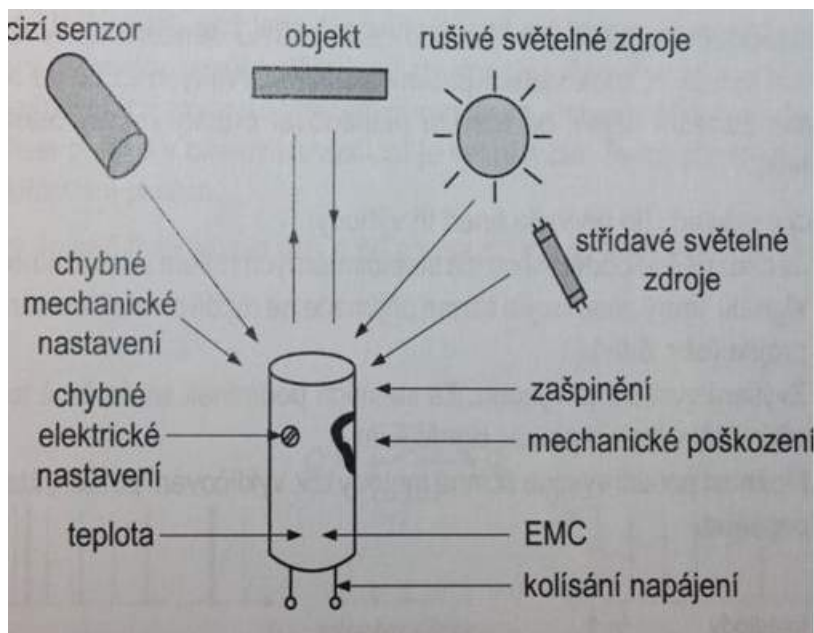
Obr. 11 Spektrum LED a laserové diody. Převzato z [9].

2. BEZKONTAKTNÍ SENZORY VZDÁLENOSTI

Fotodioda je také polovodičová součástka obsahující P-N přechod. Nedochází zde k emisi fotonů, nýbrž k jejich absorpci. Fotony v materiálu generují volné elektrony a díry. Oba typy nosičů driftují opačným směrem a jsou příčinou vzniku elektrického proudu ([10], str. 727).

Fotorezistory jsou polovodičové součástky, ale neobsahují P-N přechod. Jejich princip je založen na vnitřním fotoelektrickém jevu a odpor fotorezistorů vlivem dopadajícího světla klesá [11]. Oproti fotodiodě mají delší dobu odezvy a jsou více závislé na teplotě ([2], str. 121).

Na přijímací prvek v praxi, kromě vyslaného signálu, dopadá i světlo z jiných zdrojů: stejnosměrných nebo střídavých. Stejnosměrné zdroje (slunce, žárovky) na přijímacím prvku indukují stejnosměrný proud, jehož hodnota je mnohem větší než užitečný signál. Střídavé (zářivky, jiné senzory) zase indukují silný střídavý proud. Faktory ovlivňující měření jsou zobrazeny na obr. 12. Frekvenční spektrum rušení je velmi široké a pro správnou funkci senzorů je třeba instalovat speciální vyhodnocovací obvody [2 s156].



Obr. 12 Rušivé vlivy ovlivňující snímání. Převzato z ([2], str. 157).

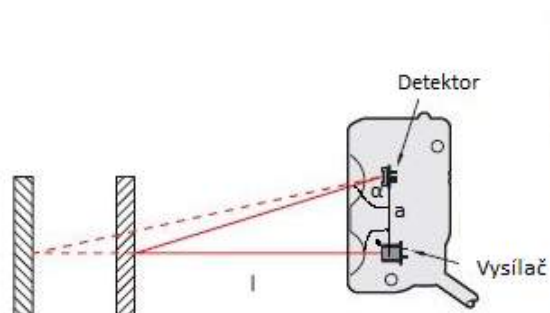
Optické senzory mají obecně velký měřicí rozsah. Lze jimi měřit, v závislosti na použité metodě, vzdálenosti od mikrometrů až po kilometry. Na rozdíl od jiných senzorů mohou být použity i ve velmi těsných prostorech nebo na místech s extrémními podmínkami. To díky snadnému přivedení signálu (světla) na místo měření pomocí optických vláken. Optické senzory jsou snadné na údržbu a cenově dobře dostupné. Díky svým vlastnostem se staly nejpoužívanější skupinou senzorů.

2.4. OPTICKÉ SENZORY

2.4.1. Triangulační senzory

Triangulační senzory využívají princip optické triangulace k bezkontaktnímu měření vzdálenosti. Senzor vyšle úzký svazek laserových paprsků, který je zaostřen a vytvoří na povrchu snímaného předmětu malý světelný bod. Bod je promítnut zobrazovací optikou na citlivý lineární detektor ([6], str. 6). Pomocí detektoru se zjistí úhel dopadu zachycených světelných paprsků a senzor vypočítá vzdálenost objektu pomocí základní trigonometrie (viz obr. 13) [12].

$$l = a * \tan(\alpha)$$



Obr. 13 Triangulační senzor. Převzato z [12].

Ve většině případů není paprsek celý odražen, ale rozptýlen do všech směrů. Pro změření vzdálenosti postačí, když alespoň jeden z odražených paprsků dopadne na snímač. Senzor proto může měřit vzdálenost nezávisle na orientaci dopadové plochy. Vzhledem k charakteru difuze má však pouze omezený dosah. Ve svém rozsahu je ale velmi přesný ([2], str. 163). U běžně prodávaných senzorů se měřicí rozsah pohybuje od 0,5 mm do 1 m ([6], str. 15). Pro měření větších rozsahů je nutno použít jiné typy optických senzorů.

Obyčejné triangulační senzory mají měřicí frekvenci v řádu stovek hertzů, ty lepší pak v řádu kilohertzů. Mohou tak snímat pohybující se objekty, pokud rychlost nebude příliš velká. Při známé rychlosti pohybu předmětu vůči senzoru dostaneme informaci o měřené vzdálenosti, natočení i struktuře povrchu. Triangulační senzory mohou mít výstupy jak analogové, tak digitální [13]. Triangulační senzory se pro svou přesnost často používají při kontrole kvality. Na obrázku 14 je ukázáno použití senzorů pro měření tloušťky plechu, kruhovitosti hřídele a geometrie karoserie auta.

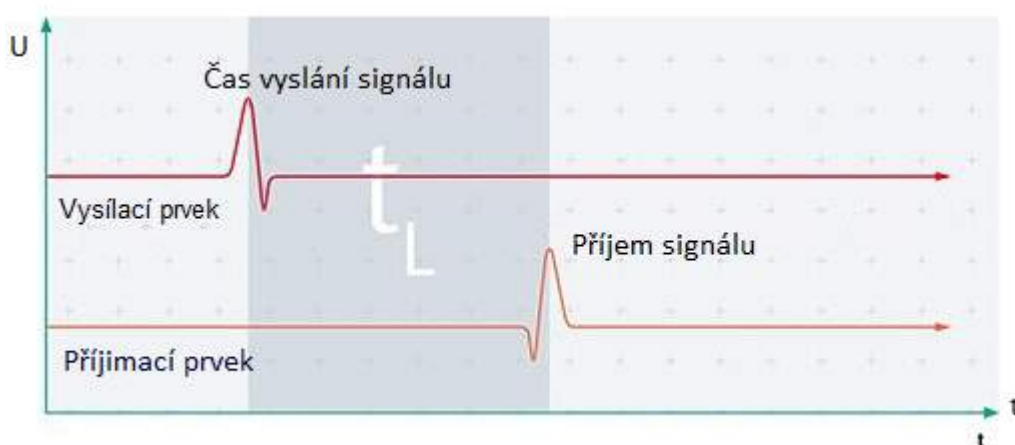


Obr. 14 Příklady použití triangulačních senzorů. Převzato z [13].

Triangulační senzory jsou ideální pro měření vzdáleností od pěti milimetrů do jednoho metru, nejsou závislé na orientaci objektu a jsou schopny detekovat i objekty velmi malé. Mají dobrou linearitu a uspokojivou frekvenci měření. Triangulační senzory jsou značně ovlivněné změnou teploty a měření nejde provádět v těsné blízkosti čidla ([6], str. 6).

2.4.2. Měření doby letu vlny

Senzory fungující na tomto principu vysílají krátký laserový signál a měří dobu, za kterou se odražený puls vrátí do přijímací optiky senzoru. Na základě rychlosti světla a změřeného času je možné vypočítat vzdálenost (viz obr. 15). Jedná se tedy o podobný princip jako u ultrazvukových senzorů. Na rozdíl od ultrazvukových senzorů jsou ale optické senzory méně citlivé na změny okolního prostředí. Kvůli velké rychlosti šíření světla se senzory pracující na principu měření doby letu vlny používají pro měření vzdáleností větších než jeden metr. Vyžadují však velmi přesné měřiče času, citlivý snímač, velmi úzký laserový svazek, speciální objektiv a je nutná instalace odrazky na měřený předmět. Při splnění těchto požadavků se měřicí rozsah může pohybovat od 0,5 až do 3000 m ([6], str. 10-11).

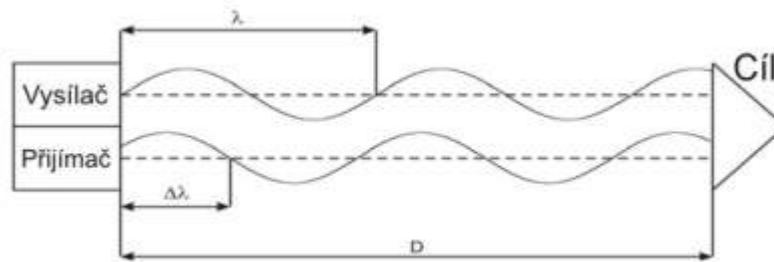


Obr. 15 měření doby letu vlny. Převzato z [14].

2.4.3. Měření pomocí fázového posunu

Další metodou je měření vzdálenosti pomocí fázového posuvu. Při tomto principu je k měřenému objektu vyslán vysokofrekvenční světelný paprsek, který se od měřeného objektu odrazí a na detektor dopadne s určitým fázovým posunem. Přesný čítač zaznamenává počet vyslaných vln do doby přijetí signálu a vyhodnocovací elektronika spočítá výslednou vzdálenost (viz obr. 16) [15].

2.5. SHRUTÍ



Obr. 16 Měření pomocí fázového posunu. Převzato z [15].

Vzdálenost se potom spočítá podle následujícího vzorce

$$l = N \frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\lambda}{2}$$

kde N je počet vln, λ vlnová délka a $\Delta\lambda$ fázový posun.

2.5. Shrnutí

Konkrétní technické aplikace kladou na senzory speciální požadavky, proto se vyrábí v mnoha provedeních. Kromě uvedených typů senzorů se objevují také například kapacitní, ty jsou velmi podobné senzorům indukčním, magnetické, z optických pak polychromatické nebo interferenční. V tabulce č. 3 jsou vypsány některé vlastnosti vybraných typů senzorů. Jedná se o orientační tabulku, jejíž data byla získána z katalogů výrobců.

Tab. č. 3 Vlastnosti senzorů.

Druh	Měřicí rozsahy	Rozlišení	Frekvence měření
Triangulační [6]	0,5-1000 mm	10-10000 nm	0,75-49 kHz
Doba letu/fázový posun [6]	0,5-3000 m	0,5-10 mm	100-2000 Hz
Indukční [6]	0,4-80 mm	0,11-1300 nm	25-1000 kHz
Ultrazvukové [16]	1,5-6000 mm	0,2-2 mm	80-350 kHz

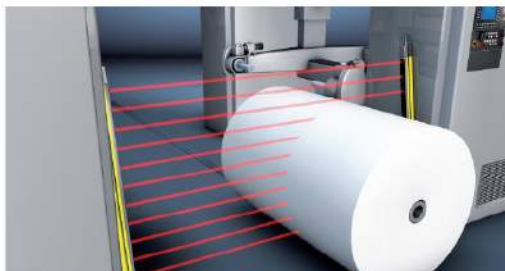
Často je třeba získat více informací o geometrii předmětu, proto se senzory spojují do automatizovaných systémů, nebo umísťují na lineární pojezdy, či rotační klouby.

3. Systémy pro kontrolu rozměrů

Systémy pro kontrolu rozměrů strojních součástí jsou vyráběny na základě požadavků na přesnost, rychlost a adaptabilitu měřicích procesů. Existují tedy technicky a cenově odlišné systémy, jejichž praktické příklady jsou diskutovány v následující části.

3.1. Měření pomocí optické mříže

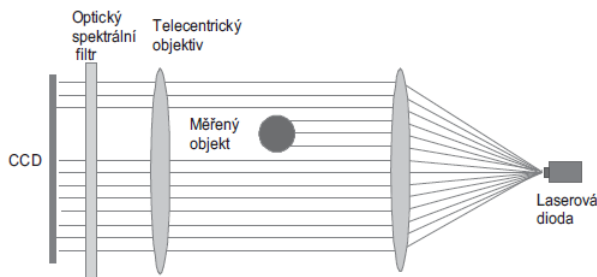
Jedná se o nejjednodušší systém pro měření rozměrů. Mnoho jednocestných optických závor se umístí do řady čímž vytvoří optickou mříž. Objekt procházející skrz mříž odrazí určitý počet paprsků, takže detektory nebudou generovat žádný signál. Podle počtu zastíněných detektorů se dají spočítat rozměry měřeného objektu. Princip je zřejmý obrázku 17.



Obr. 17 Optická mříž. Převzato z [17].

Přesnost měření závisí na vzdálenosti mezi sousedními detektory. Obecně vzato se touto metodou nedá dosáhnout velkých přesností. Senzor od firmy Pepperl+Fuchs Light grid PR32-030-P-2-F-S například obsahuje 32 světelných závor vzdálených 1,5 mm. Měří tedy s přesností na 3 mm [18]. Častěji než k měření rozměrů se dnes optické mříže používají jako bezpečnostní prvky.

Na podobném principu jako optické mříže fungují mikrometry. Neobsahují ale jednocestné závoře, nýbrž bodový zdroj světla, který vytváří, pomocí optické soustavy, paralelní clonu. Ta směřuje přes spektrální filtr, který zajistí, že na senzor dopadá především užitečné záření. Prerušil-li nějaký objekt světelnou clonu, je na přijímací jednotce zaznamenán stín. Velikost stínu je následně vyhodnocena elektronikou. Princip mikrometru je znázorněn na obr. 18.



Obr. 18 Princip mikrometru. Převzato z [19].

3.2. 3D SKENER

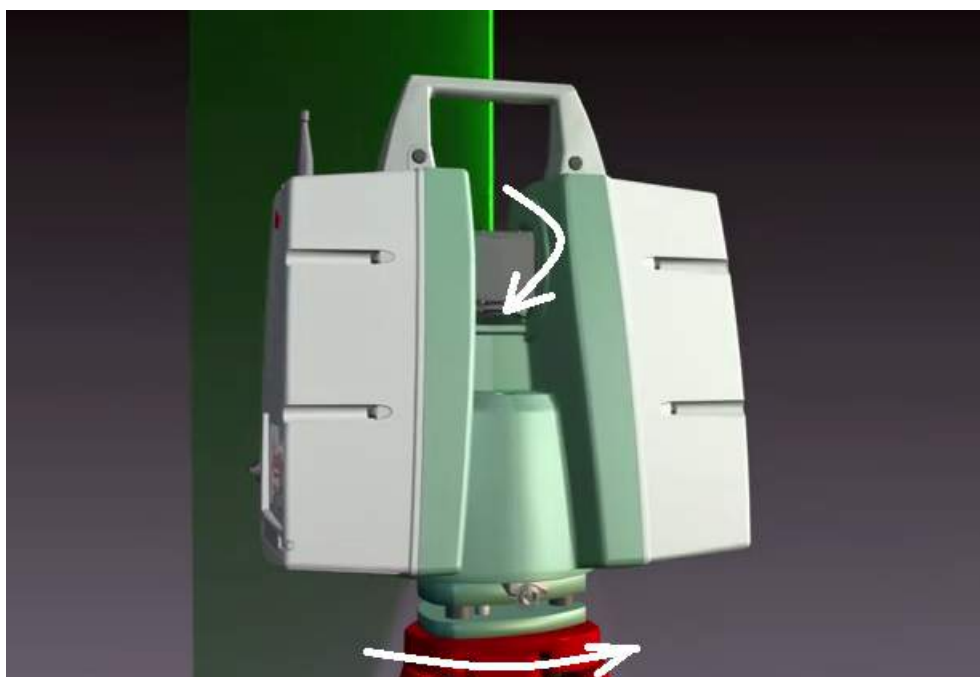
Pracovní rozsah mikrometrů se pohybuje v řádech desítek milimetrů a přesnost v jednotkách mikrometrů. Mikrometry se používají pro měření průměrů, mezer, nebo polohy malých objektů [6, 19].

3.2. 3D skener

3D skenery jsou zařízení pro přenos prostorových útvarů do virtuálních 3D modelů. Skener při své práci shromažďuje údaje o tvaru a vzhledu snímaných předmětů, podává tak úplnou informaci o geometrii.

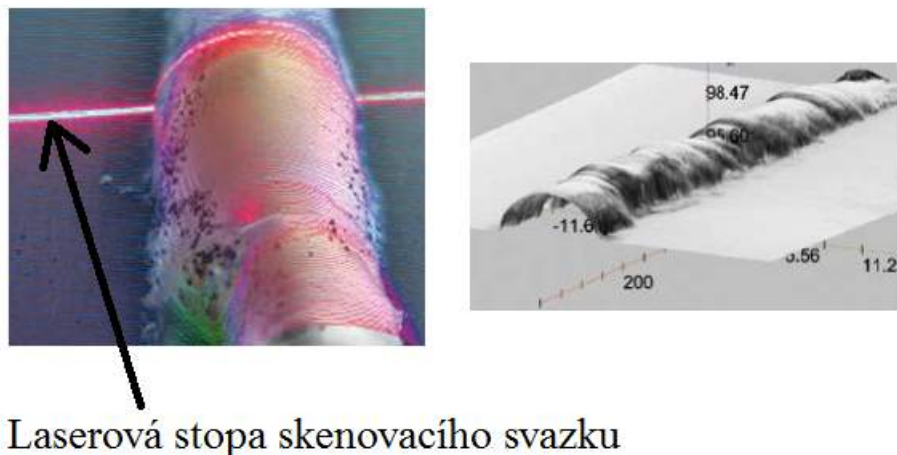
Jednoduchý skener může být realizován umístěním klasického triangulačního senzoru na průmyslového robota. Kromě informace o vzdálenosti snímaného bodu od předmětu je nutno znát polohu a natočení senzoru. Shromážděné informace jsou základem pro tvorbu digitálního trojrozměrného modelu. U této metody je třeba, aby robot a senzor pracovaly s uspokojivou přesností [20].

Další typ laserového skeneru používá optický senzor, který pracuje na principu měření doby letu světla. Senzor rotuje kolem dvou, na sebe kolmých, os a vysílá a přijímá signál s frekvencí 100 GHz. Ke každé naměřené vzdálenosti přiřadí natočení senzoru a ze získaných dat sestaví 3D model. Skener je zobrazený na obrázku 19 a používá se při skenování velkých strojních součástí, místností, nebo otevřených prostor [21].



Obr. 19 3D scanner s měřením doby letu světla. Převzato z [21].

Další možností jak realizovat 3D skener je použití speciálního liniového optického senzoru, který pracuje na principu triangulace. Místo bodu ale, díky speciální optice, promítá úsečku. Kromě informace o vzdálenosti tak získáme i informaci o pozici podél laserové linie. Připojením lineárního pojezdu získáme kompletní 3D model. Na obrázku 20 je ukázáno skenování svaru a jeho 3D model [6].



Laserová stopa skenovacího svazku

Obr. 20 3D skener, triangulační linka. Vlevo proces skenování svaru. Vpravo naskenovaný 3D model. Převzato a upraveno z [6].

Všechny uvedené typy skenerů využívají ke své činnosti optické senzory. Rozdíl mezi typy je dán druhem senzoru nebo realizací relativního pohybu. 3D skenery dokáží snadno převést reálný objekt na virtuální model, se kterým lze dále nakládat, například vytisknout na 3D tiskárně. Právě díky stále většímu používání 3D tiskáren jsou v 3D skenery stále rozšířenější. Z výše uvedených skenerů se pro měření ocelových konstrukcí hodí skener s měřením doby letu světla, jelikož je uzpůsoben k měření větších objektů.

3.3. Kamerový vyhodnocovací systém

Základem tohoto systému je klasická kamera a vyhodnocovací software. Před uvedením systému do provozu je nutné nastavit vzorový obraz, který je dále vyhledáván v dalších obrazech. V případě, že vzor není nalezen, je indikována závada výrobku. Obraz nemusí přesně odpovídat vzoru, v softwaru je možno nastavit míru možných odchylek. Na obrázku 21 je zobrazeno porovnávání obrazu se vzorem.



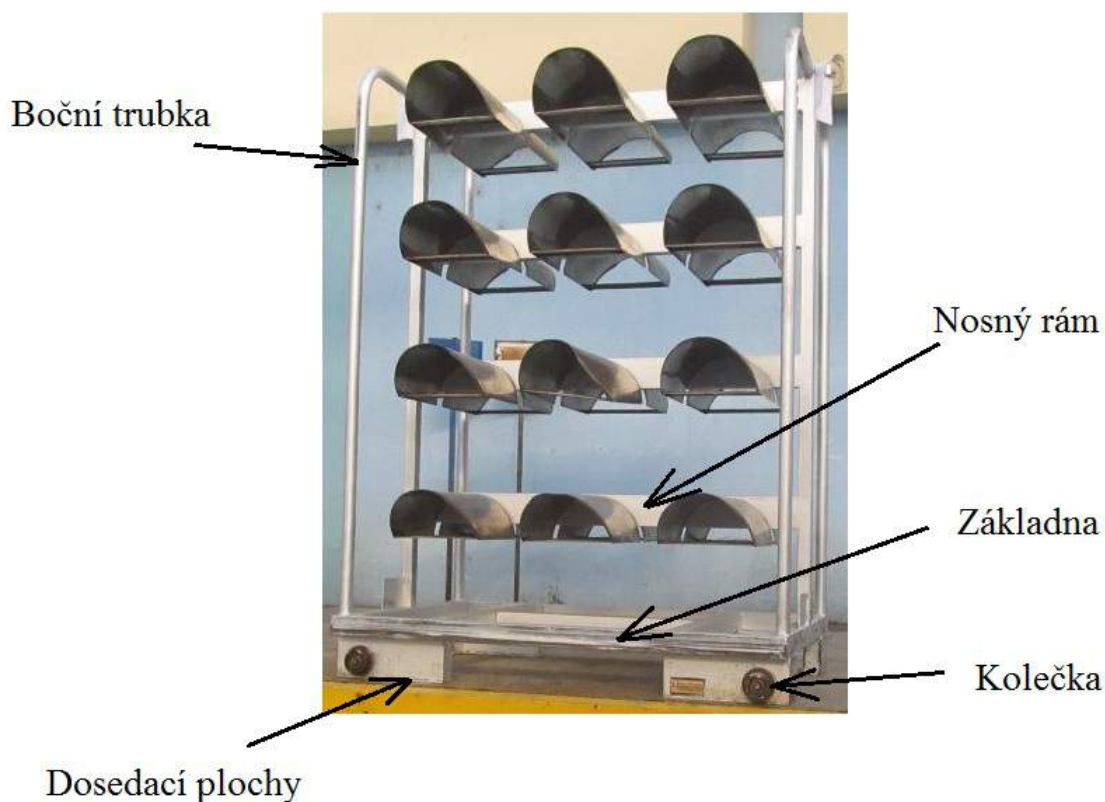
Obr. 21 Porovnávání obrazů. Převzato z [22].

3.3. KAMEROVÝ VYHODNOCOVACÍ SYSTÉM

Kamerové měřicí systémy jsou univerzální. Není třeba zhotovovat konstrukce pro umístění více senzorů, postačí konstrukce pro umístění kamery. V softwaru se vybere jeden či více vzorových motivů a zvolí se vhodná funkce vyhodnocení. Při změně objektu se pouze upraví konfigurace systému bez zásahu do mechaniky. Mimo porovnávání objektů jsou kamerové systémy také schopny měřit vzdálenosti, třídit objekty a počítat je. Při měření však nejsou schopny dosáhnout velkých přesností. To je způsobeno proměnným zvětšením objektivu kamery při změně vzdálenosti a zaostřování. Kamerové systémy, přes svůj jednoduchý princip, patří k nákladným kontrolním metodám a to hlavně kvůli drahému softwaru na zpracování obrazu [24, 20].

4. Sledované parametry pintracků

Pintrack je transportní nosič, který převáží kokony skelného vlákna z místa navinutí na místo dalšího zpracování. Je s ním manipulováno strojově, nejčastěji na řetězových dopravnících, a přemísťuje jej též obsluha na paletových vozících. Hmotnost pintracku v nezátíženém stavu je asi 200 kg a jeho maximální rozměry jsou 1360 x 950 x 1920 mm³. V provozu závodu firmy SAINT-GOBAIN ADFORS v Hodonicích se pohybuje odhadem 700 pintracků. Na obrázku 22 je fotografie pintracku a definovány pojmy objevující se dále v textu.



Obr. 22 Pintrack.

Při strojové či manuální manipulaci s pintrackem dochází k nárazům, nebo jinému silovému působení, jenž může mít za následek vznik plastických deformací. Trvalé deformace mohou být rovněž způsobeny teplotními šoky, kterým je pintrack vystaven. V průběhu jednoho cyklu se pintrack dostává do míst s teplotou převyšující 150°C. Změna geometrie způsobená plastickými deformacemi může vést k problémům v automatizovaném provozu. V minulosti byly zaznamenány závažné havárie způsobené právě nevyhovující geometrií pintracků.

Nejčastější poškození pintracků:

1. Deformace bočních trubek.
2. Dosedací plochy nejsou v jedné rovině.
3. Vyryté drážky na dosedacích plochách (obr. 23).
4. Vybouleniny na základně vzniklé nárazem paletového vozíku (obr. 24).
5. Zadřená kolečka.



Obr. 23 Vyryté drážky.



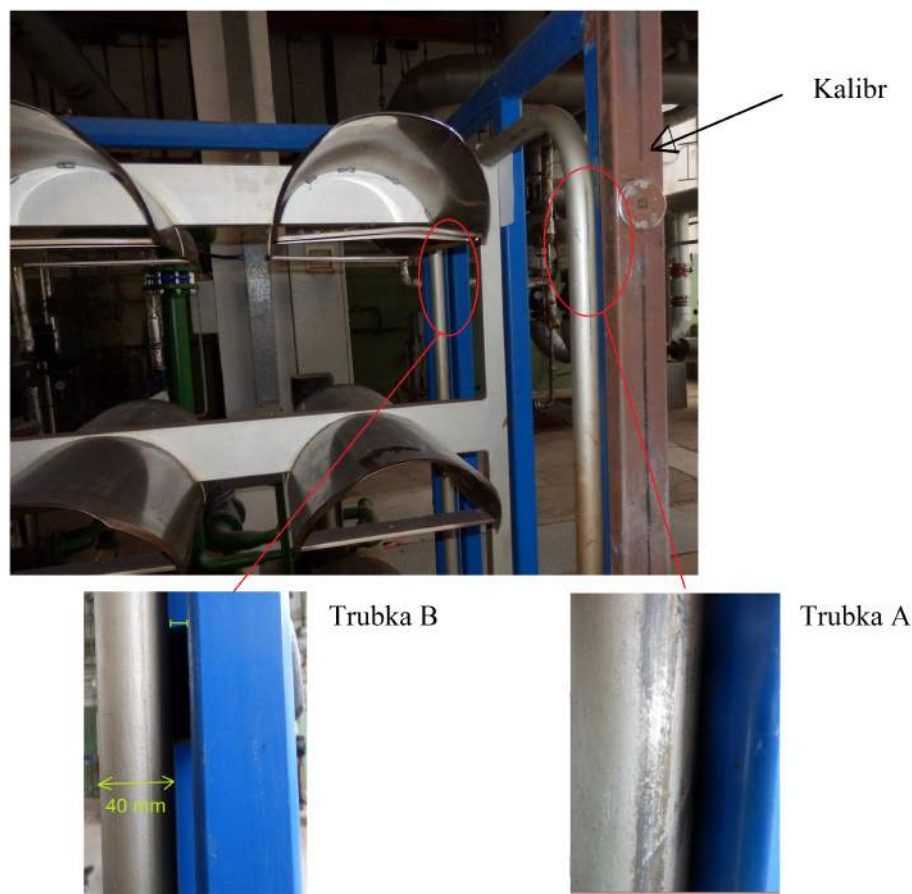
Obr. 24 Vybouleniny.

Všechny výše uvedené deformace mohou vést k závažným haváriím. Největší problém způsobuje deformace bočních trubek. Při strojové manipulaci s pintracky, jsou pintracky často uchopovány právě za boční trubky. Jejich nevyhovující geometrie má za následek špatné uchopení, které může vést k převrácení pintracku. Převrácením pintracku se znehodnotí převážený materiál a může dojít k poškození strojů v okolí havárie.

5. Provozní požadavky na měřicí systém

Jedním z cílů práce je navrhnout měřicí systém, který vyhodnotí vybrané rozměry pintracků a umožní analyzovat jejich deformace. V současné době se v továrně nachází kalibr, do kterého se musí pintrack přivést k posouzení vhodnosti dalšího používání. Hlavní nevýhodou tohoto řešení je fakt, že pintracky ke kontrole vybírá obsluha (pokud se jí nějaký pintrack zdá moc křivý, pošle jej na kontrolu). Deformace malého charakteru, v řádech jednotek až desítek milimetrů, však nejsou okem jednoduše zjistitelné.

Na obrázku 25 je příklad malé deformace, která je viditelná díky kalibru. Kalibr je zkonstruován tak, aby po založení nepoškozeného pintracku celá zadní strana dosedala ke konstrukci. Z detailů obrázku 25 je vidět, že trubka A dosedá, ale trubka B nikoli. Rám je tedy deformován. Zdali je pintrack vhodný k dalšímu používání posuzuje na místě obsluha. Posouzení je subjektivní, což je další nevýhodou tohoto způsobu kontroly. V tomto případě se jedná o deformaci asi 8 mm, která je přípustná a neohrožuje automatizovaný provoz. Ve výjimečných případech může dojít, vlivem velkých působících sil, k úplnému porušení geometrie (viz obr. 26).



Obr. 25 Příklad mírně deformované boční trubky.

Navrhovaný měřicí systém bude umístěn v lokalitě, kudy projíždí všechny pintracky, tím se zajistí pravidelná kontrola. Ve spolupráci s pracovníky firmy bylo vybráno vhodné místo. Jedná se zhruba o 30 m dlouhý řetězový dopravník, který přemísťuje prázdné, nezátížené pintracky. Dopravník je buď v klidu, nebo se pohybuje (vyjma rozjezdu a brzdění) konstantní rychlostí kolem $0,14 \text{ m.s}^{-1}$. Jeho okolí není za normálních okolností přístupné.

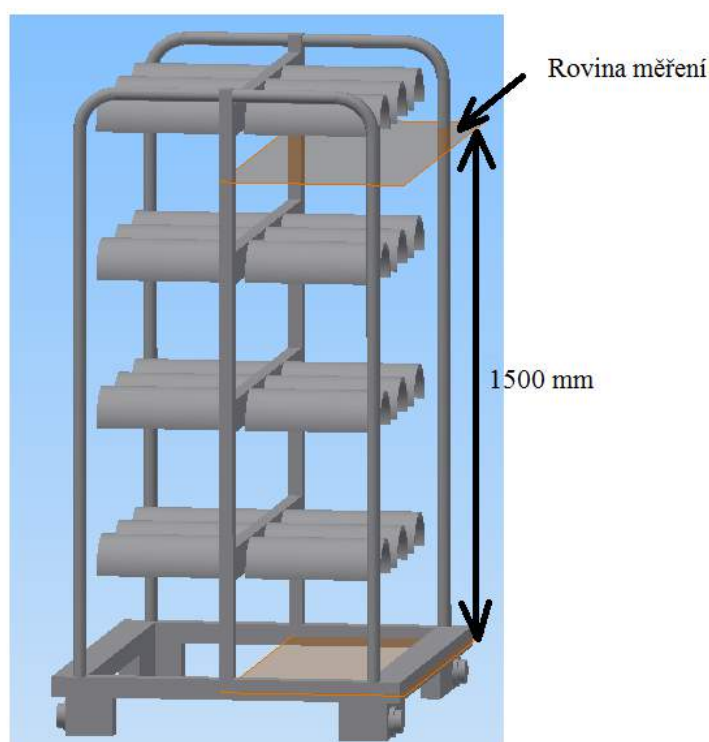


Obr. 26 Silně deformovaný pintrack.

Měřicí systém tedy musí být schopen s uspokojivou přesností zaznamenat deformaci boční trubky, být spolehlivý (jeden pintrack vyhodnotit vždy stejně), nenáročný na údržbu. Dále pak musí být schopen provozu na určeném místě a mít co nejpríznivější cenu.

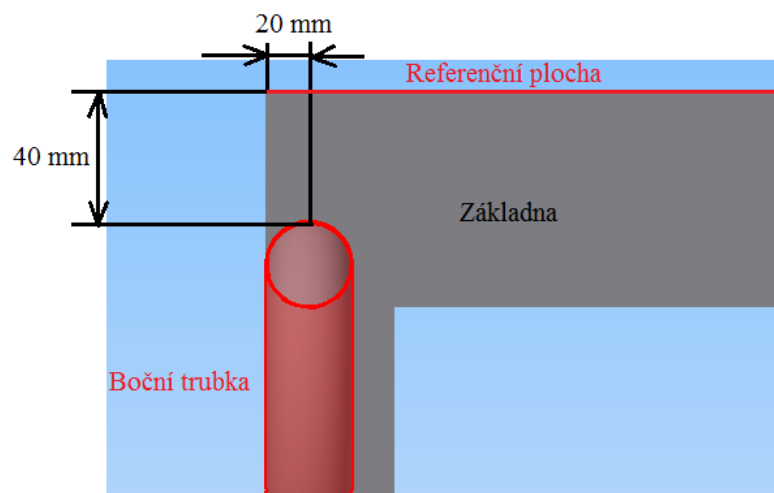
6. Metodika měření rozměrů pintracku

Nosný rám pintracku je dostatečně tuhý a můžeme uvažovat, že nepodléhá deformaci, aniž by došlo k deformaci bočních trubek. Tento předpoklad potvrzuje i praxe. Pro posouzení pintracku je tedy nutno zkontrolovat, zda-li boční trubky nejsou deformovány. Jako nejjednodušší metoda se jeví kontrola pomocí kamerového systému. Pro aplikaci by však bylo nutno zakoupit dobrý software pro zpracování obrazu, což je velmi nákladné. Pro vyhodnocení deformace konstrukce postačí proměření rozměrů pomocí senzorů.



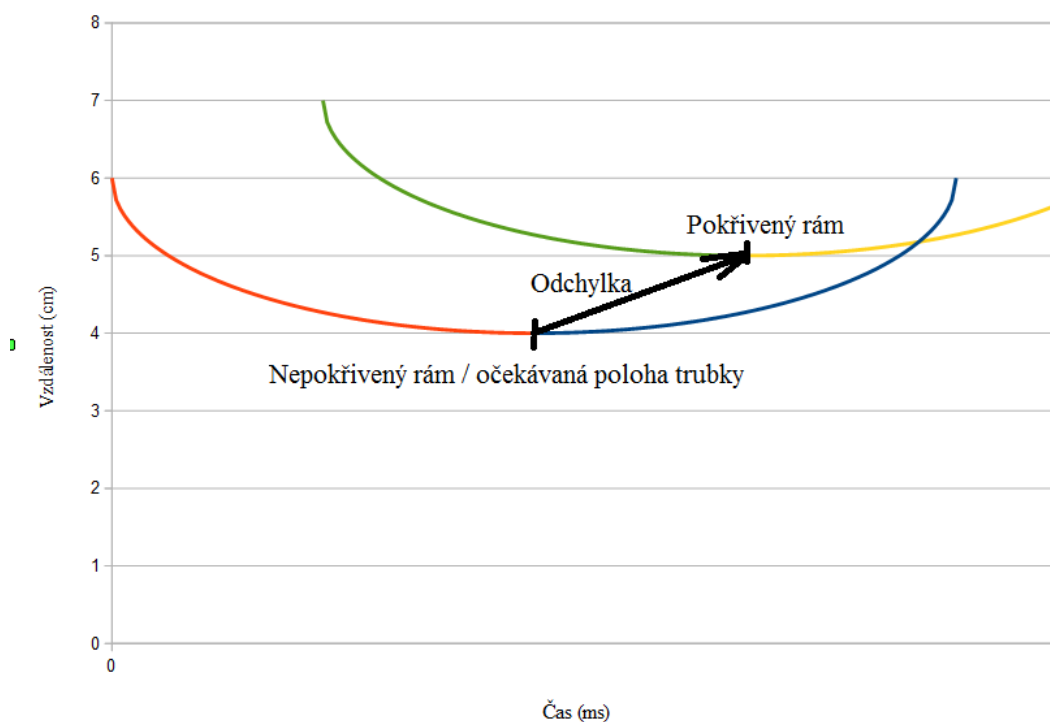
Obr. 27 Místa měření.

Pro posouzení míry deformace bočních trubek pintracku je vhodné jejich proměření ve dvou rovnoběžných přímkách vzdálených od sebe více než 1500 mm (viz obr. 27). Jestliže realizujeme pohyb senzorů nebo pintracku, získáme průběh vzdálenosti částí pintracku od senzoru. Spodní senzor bude snímat vzdálenost referenční plochy - základny, ze které se vypočítají očekávané polohy trubek. Poloha trubky se určí bodem na jejím průměru, který se nachází nejbližší k senzoru. U nedeformovaného pintracku se budou body nacházet ve vzdálenosti 40 mm od referenční plochy a 20 mm od jejího počátku (viz obr. 28). Tyto hodnoty byly získány z výkresové dokumentace pintracku.



Obr. 28 Pintrack - horní pohled.

Horní senzor bude zaznamenávat reálnou polohu bočních trubek a vyhodnocovací software porovná rozdíl mezi reálnou a očekávanou polohou trubky. Podle velikosti rozdílu se bude posuzovat vhodnost pintracku k dalšímu použití. Na obrázku 29 je očekávaná závislost naměřené vzdálenosti na čase při pohybu senzorů pro nedeformovaný a deformovaný pintrack.



Obr. 29 Očekávaná závislost polohy boční trubky na čase.

Spodní, referenční, senzor bude pouze jeden. Boční trubky jsou přivařené k základně (viz obr. 22), která má velkou tuhost a předpokládáme nedeformovatelnost, tudíž jsme schopni

6. METODIKA MĚŘENÍ ROZMĚRŮ PINTRACKU

ze vzdálenosti referenční plochy dopočítat očekávanou polohu obou trubek.

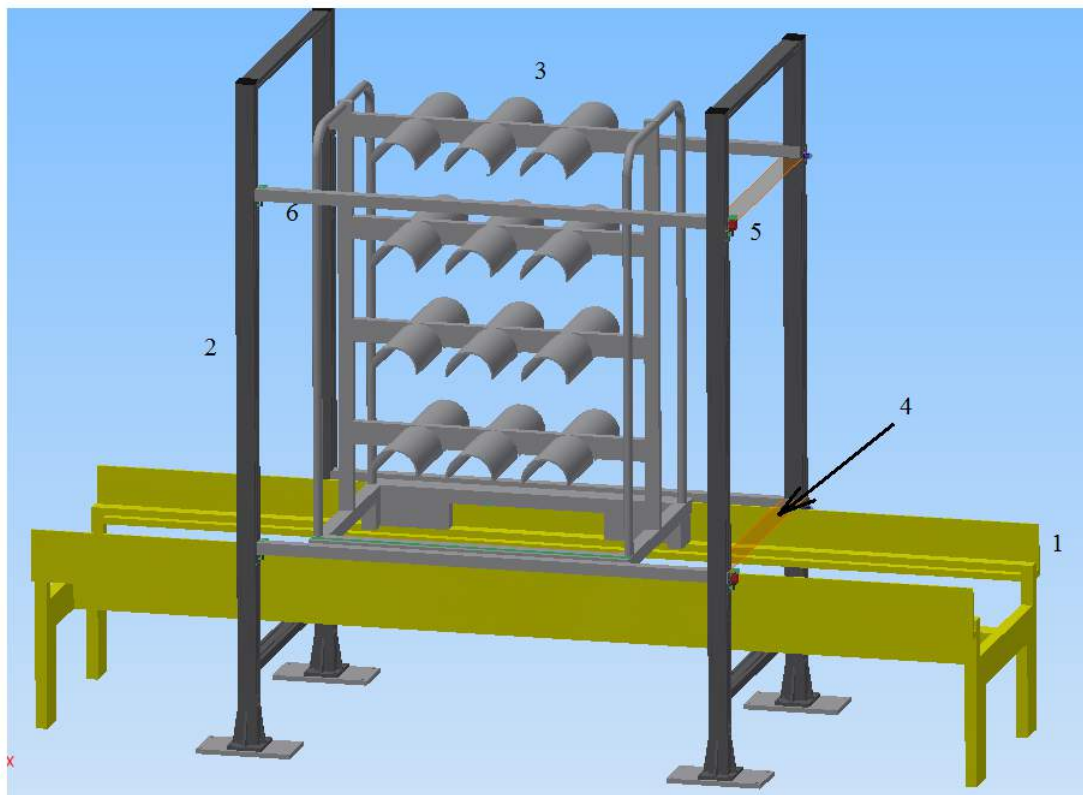
Vzhledem k velikosti konstrukce a tomu, že deformace jsou očekávány v řádech desítek milimetrů, se mohou volit senzory s rozlišením v řádu desetin milimetrů. Měřicí vzdálenost se bude pohybovat v řádu stovek milimetrů. S ohledem na tyto požadavky se podle tabulky 3 jeví vhodné ultrazvukové nebo optické-triangulační senzory. Frekvence měření obou typů jsou dostačující, triangulační jsou však obecně levnější, proto bude vybíráno mezi nimi.

7. Návrh měřicího systému

Byly vypracovány 2 návrhy měřicích systémů:

1. Systém s pojízdnými senzory

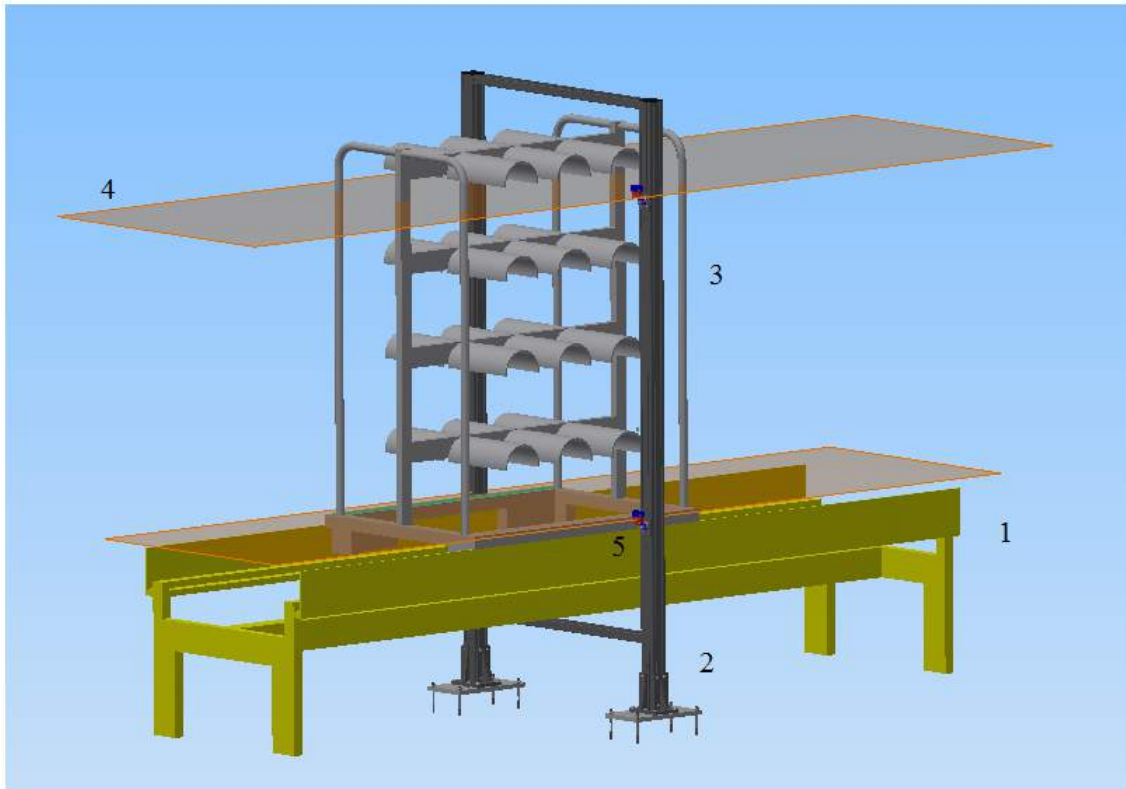
Systém je ilustrován na obrázku 30. Mezi dvěma úvratěmi projíždí na lineárním pojezdu optický senzor, který snímá okamžitou vzdálenost od pintracku. Pintrack je během procesu v klidu.



Obr. 30 Systém s pojízdnými senzory. 1- řetězový dopravník, 2- měřicí brána, 3- pintrack, 4- měřicí rovina, 5- senzor, 6- lineární pojezd.

2. Systém se stabilními senzory

Systém je ilustrován na obrázku 31. V tomto případě jsou senzory pevně připevněny k rámu a pohyb koná pintrack položený na řetězovém dopravníku.



Obr. 31 Systém se stabilními senzory. 1- řetězový dopravník, 2- měřicí brána, 3- pintrack, 4- měřicí rovina, 5- senzor

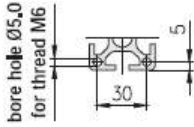
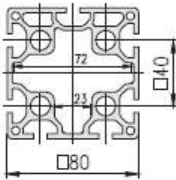
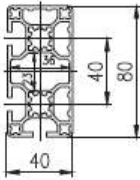
Oba návrhy se liší pouze realizací pohybu. V případě pohybu senzorů bude měření přesnější, protože nebude docházet k výchylkám bočních trubek vlivem vibrací, které jsou přítomny při pohybu pintracku po dopravníku. Tento návrh je konstrukčně obtížnější, spotřeba materiálu je vyšší a tudíž je systém mnohem nákladnější než druhá varianta, která je sice méně přesná, avšak plně dostačující.

7.1. Měřicí brána

Měřicí brána pro uchycení senzorů musí být tak velká, aby bylo možno umístit horní senzor. Vzhledem k velikosti pintracku a výšce dopravníku se jedná o výšku větší než 2 m. Z důvodu větší tuhosti konstrukce budou sloupy, na kterých budou senzory umístěny, spojeny příčkou nahoře i dole (tady i z důvodu možného umístění dalších senzorů řešících jiný problém). Pro konstrukci rámu byly vybrány hliníkové profily a příslušenství od firmy Malytec. Předností těchto profilů oproti jiným konstrukcím je snadná rozebiratelnost, rychlá montáž a vysoká přesnost garantovaná výrobcem.

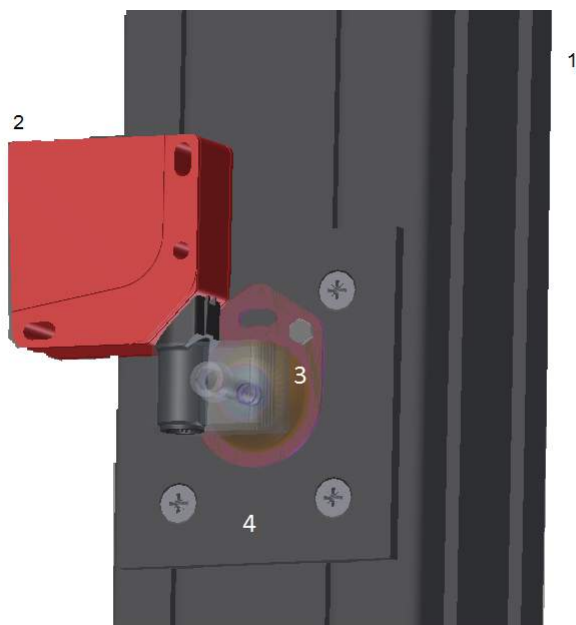
Při výběru profilu pro sloupy je brán ohled na hmotnost, moment setrvačnosti, počet slotů a rozměry, které z důvodu prostoru určeného pro instalaci brány nesmí být větší než 100 x 100 mm. Vybraný profil je i s popisem na obrázku 31 uprostřed.

7.1. MĚŘICÍ BRÁNA

			
Description		Profile 80×80, 7E, SBP	Profile 40×80, 3E, corner, LP
bar, 6 m		1.11.080080.73SBP.60	1.11.040080.32LP.60
packing unit (number)		1.11.080080.73SBP.61 (2)	1.11.040080.32LP.61 (4)
moment of inertia cm ⁴		$I_x = 145.0$ $I_y = 141.0$	$I_x = 65.2$ $I_y = 17.9$
moment of resistance cm ³		$W_x = 36.2$ $W_y = 35.2$	$W_x = 16.3$ $W_y = 8.9$
weight kg/m		$G = 5.3$	$G = 2.6$

Obr. 32 Profily nosníků [25].

Pro vertikální spojení sloupů je volen profil 40 x 80 mm (obr. 32 vpravo). Komponenty pro spojování profilů, kotvení, nebo uchycení senzorů jsou vybrány též z katalogu Maytec [25]. Konkrétní provedení s kompletní výkresovou dokumentací se nachází v příloze. Sensory budou ke konstrukci uchyceny pomocí spojovací desky tak, aby byla možná změna jejich polohy ve vertikálním směru. Spojovací deska bude fixována pomocí T matice a potřebné kabely budou vedeny středem sloupů přes průchodky. Na obrázku 33 je ukázáno uchycení senzoru.



Obr. 33 Uchycení senzoru: 1) Sloup 2) Senzor 3) Držák na senzor 4) Spojovací deska

7.2. Výběr senzorů

Pintracky se budou pohybovat ve vzdálenosti asi 150 mm od čela senzoru, proto musí být minimální rozsah senzoru 100 - 200 mm. Požadovaná přesnost je v desetinách mm. V tabulce 4 jsou vypsány vybrané triangulační senzory, cenová nabídka senzorů byla poskytnuta na požádání jednotlivými výrobci.

Tabulka č. 4 Vybrané triangulační senzory.

Výrobce	Senzor	Měřicí rozsah	Rozlišení	doba odezvy	Cena
Leuze elektronik	ODSL 9/V6-200-S12	50-200	0,1 mm	max. 6 ms	17 816 Kč
Leuze elektronik	ODSL 9/C66-450-S12	50-450	0,1 mm	max. 6 ms	cca 9291 Kč
Leuze elektronik	ODSL 8/V66-200-S12	20-200	0,1-0,2 mm	max. 20 ms	10 300 Kč
PEPPERL-FUCHS	VDM18-100/20/122/151	30-100	0,1% rozsahu	0,4 ms	Cca 20 000 Kč
Micro-epsilon	opto NCDT 1302	20-200	0,02% rozsahu	1,33 ms	19 662 Kč

Z výše uvedených senzorů byl vybrán ODSL 9/C66-450-S12 od výrobce Leuze elektronik. Cenová nabídka pro tento senzor je nižší, než u senzorů srovnatelných parametrů, protože byla poptávána obchodním oddělením firmy Adfors. Senzor má uspokojivou dobu odezvy, žádané rozlišení a měřicí rozsah je uvažován i s rezervou. V příloze se nachází katalogový list vybraného senzoru [26].

7.3. Měření

Cílem měření je zjistit, zda-li je vybraný senzor schopen poskytnout hodnoty potřebné k posouzení vhodnosti pintracku. Zejména pak, jestli je schopen zaznamenat průjezd boční trubky. Vybraný senzor (obr. 34) byl zapůjčen a instalován na provizorní konstrukci. Elektrotechnické zapojení a programování senzoru provedli elektrotechnici firmy Adfors.

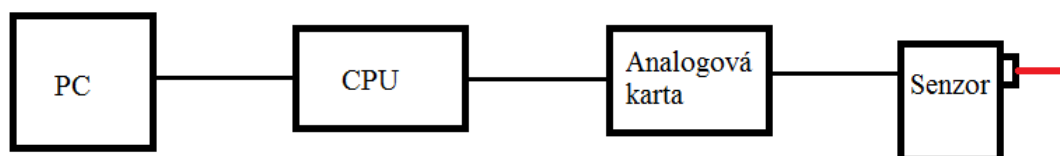


Obr. 34 Způjčený senzor.

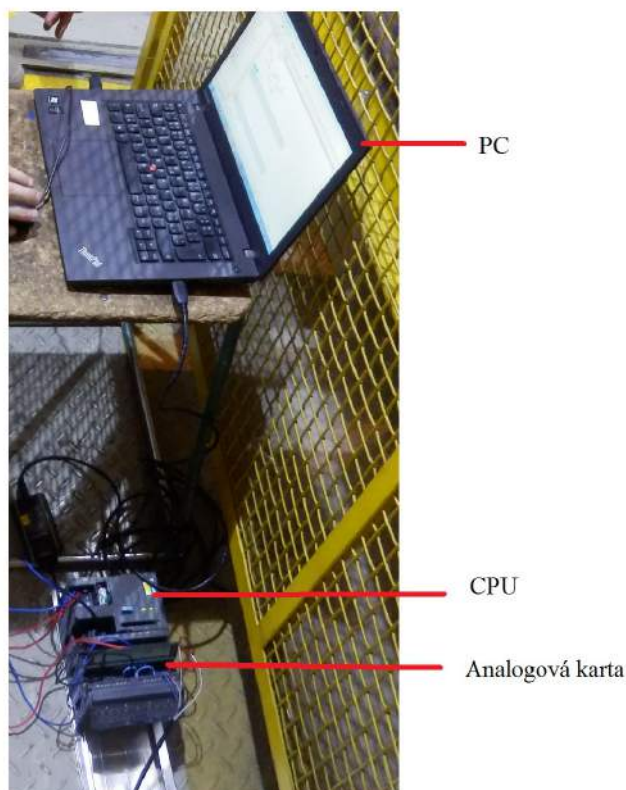
7.3. MĚŘENÍ

Měřicí zařízení se skládá ze senzoru, řídicí jednotky CPU 315 (6ES7-315-1AF03-0AB0) a karty analogových vstupů typu 8AI 331-7KF0-0AB0 (obr 35). Senzor převádí měřenou vzdálenost (50 mm až 450 mm) na proudovou smyčku v rozsahu 4 až 20 mA, která je cyklicky převáděna analogovou kartou na číslo typu integer. Získaná hodnota je dále zpracovávána programem, který přiřazuje každému měření časovou značku a spolu se vzdáleností ji zapisuje do datových bloků. Data jsou následně převedena do tabulky excelu.

Senzor byl nastaven na nejrychlejší mód měření, který takto snímá hodnotu každých cca 1,2 ms, rychlost převodu analogové karty PLC byla nastavena na nejvyšší možnou a to 400 Hz (2,5 ms), rychlost zpracování dat je asi 7 ms. Na obrázcích a 36, 37 vyfoceno zkušební měřicí zařízení.



Obr. 35 Blokové schéma měřicího zařízení.



Obr. 36 Měřicí zařízení.

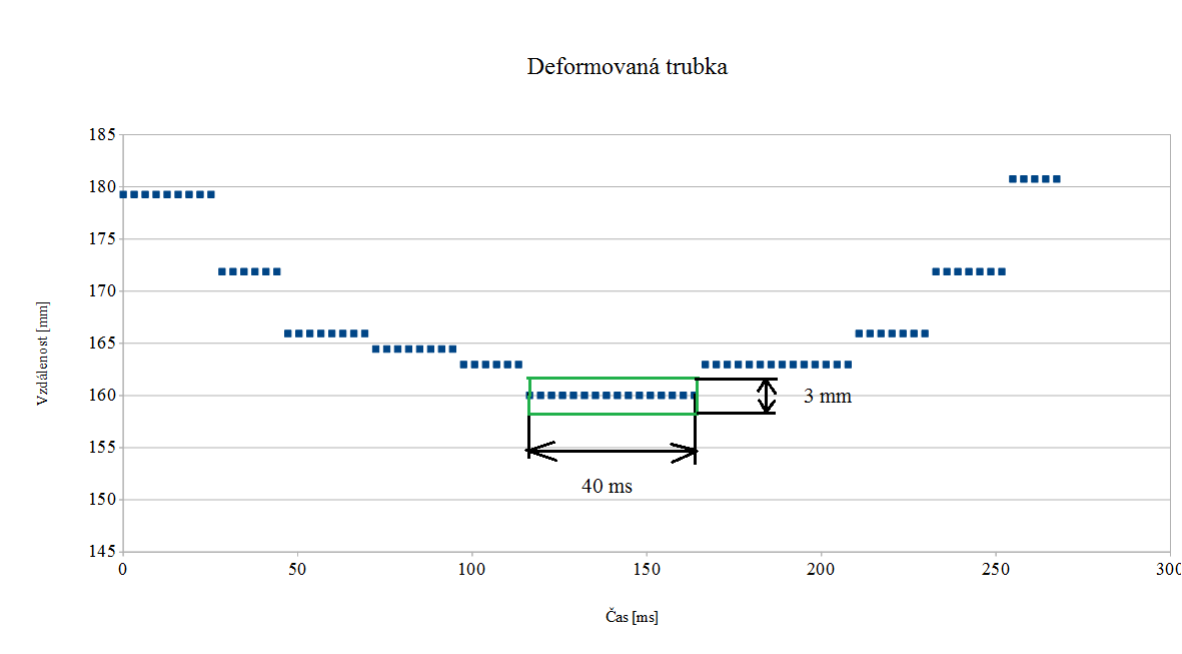


Obr. 37 Měřicí zařízení.

Měření byly dvě boční trubky, jedna deformovaná, druhá nedeformovaná a referenční plocha. Naměřená data pro první, deformovanou, trubku jsou vynesena v grafu na obrázku 38. Pro zjištění polohy trubky je třeba najít extrém získané funkce. Z grafu však přesnou polohu extrému nejsme schopni určit. Víme pouze, že minimální vzdálenost trubky od senzoru leží v intervalu se střední hodnotou 160 mm a možnými odchylkami $\pm 1,5$ mm. Pro porovnávání se pak spokojíme se střední hodnotou. Musíme však mít na paměti, že se nejedná o přesnou hodnotu.

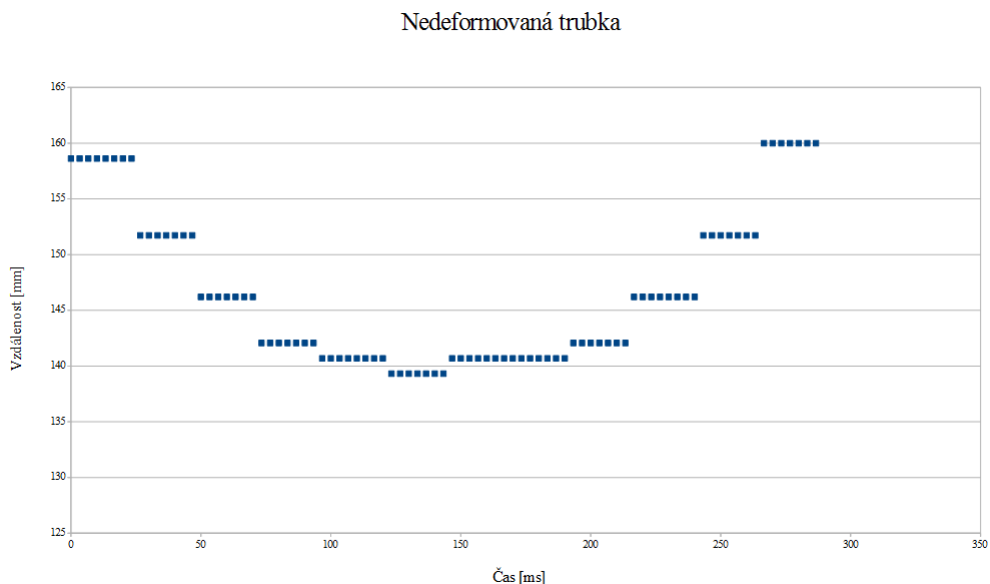
Doba průjezdu trubky je 280 ms a její průměr 40 mm. Z toho vyplývá, že se pintrack pohybuje vzhledem k senzoru rychlostí $143 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá realitě (viz str. 22). Z naměřených hodnot získáme časový interval polohy extrému. V tomto případě leží v intervalu se střední hodnotou 140 ms a možnými odchylkami ± 20 ms. Díky známé rychlosti jsme tedy schopni přepočítat časový interval na interval vzdáleností. Ten potom vychází se střední hodnotou 20 mm a možnými odchylkami $\pm 2,9$ mm.

7.3. MĚŘENÍ



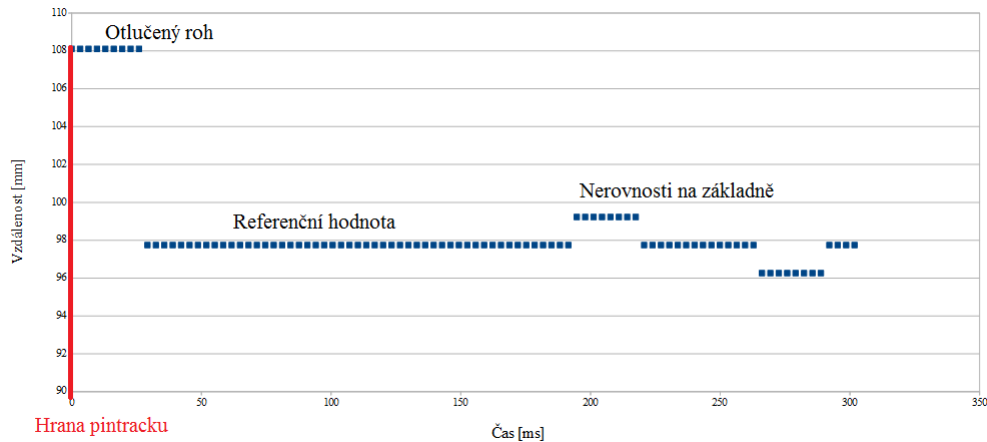
Obr. 38 Naměřená závislost polohy na čase pro deformovanou trubku.

Ve výsledku jsme pro konkrétní měření schopni zjistit s určitou nepřesností polohu trubky. Velikost nepřesnosti se bude určovat v každém měření zvlášť a musíme ji zohlednit při posuzování vhodnosti pintracků k dalšímu použití. Na obrázku 39 jsou naměřená data pro nedeformovanou trubku. Z grafu je zřejmé, že u druhé trubky budou možné odchylky intervalu vzdáleností od počátku měření menší.



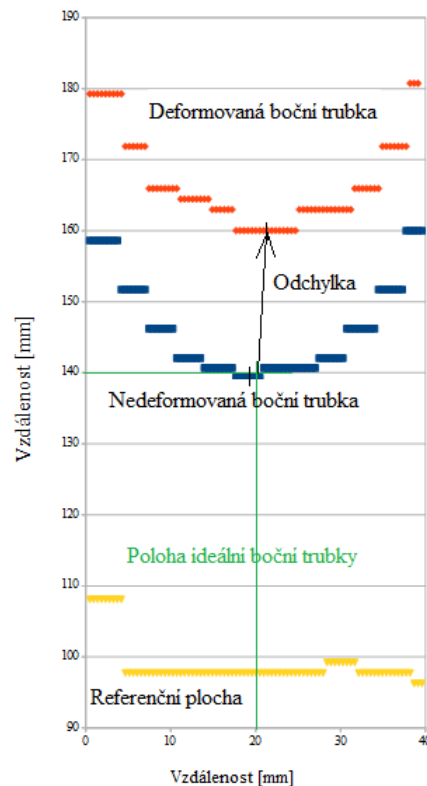
Obr.39 Naměřená závislost polohy na čase pro nedeformovanou trubku.

Naměřená data pro základnu jsou vynesena v grafu na obrázku 40. Data by měla ideálně ležet na jedné přímce. Ve skutečnosti tomu tak není kvůli nerovnostem základny, nebo deformovaným rohům. Pro porovnání a výpočet očekávané hodnoty budeme uvažovat modus naměřených dat.



Obr. 40 Naměřená závislost polohy na čase pro základnu.

Měření trubek i základny dopadla zhruba podle očekávání, avšak ze získaných dat nemůžeme posoudit stav pintracku. K dispozici byl pouze jeden senzor a měření probíhala na sobě nezávisle. Nevíme tedy, kde se nacházela tyč v době, kdy započalo měření referenční plochy. Pokud by senzory začaly snímat ve stejný okamžik, získali bychom graf z obrázku 41. V grafu vidíme, že nedeformovaná trubka se nachází v očekávané vzdálenosti 40 mm od referenční plochy. Deformovaná trubka je od referenční plochy vzdálená 60 mm. Odchyłka od očekávané polohy je tudíž 20 mm. Konstrukce bude tedy posouzena jako deformovaná a hodnocení stavu bude záležet na nastavených tolerancích odchylky.



Obr. 41 Porovnání trubek a základny.

8. Závěr

Výstupem bakalářské práce je rešerše na téma bezkontaktní senzory a systémy pro vyhodnocování rozměrů a návrh měřicí brány určené k posouzení stavu nosičů skelného vlákna - pintracků.

Pro návrh měřicí brány bylo nejprve třeba jasně definovat pintrack a popsat jeho nejčastější deformace. Na základě dlouhodobého pozorování a informací získaných od pracovníků údržby bylo definováno pět nejzávažnějších problémů se kterými se pintracky potýkají. Bakalářská práce si dala za cíl navrhnout způsob kontroly pintracků s cílem zabránit nehodám způsobených jedním ze zjištěných problémů. Problému s deformací konstrukce. Pro splnění tohoto cíle byly definovány požadavky kladené na měřicí systém.

Pro posouzení deformace konstrukce byla vybrána místa, která nejčastěji a nejsnáze podléhají plastickým deformacím (boční trubky) a navrhnout způsob jejich kontroly. Princip kontroly spočívá v zjištění očekávané polohy trubky a jejího následného porovnání s reálnou, hodnotou. Porovnáním obou zmíněných poloh získáme odchylku, podle jejíž velikosti lze posuzovat míru deformace bočních trubek. K získání potřebných dat byla navržena měřicí brána.

Pro realizaci měřicí brány byl vybrán a ozkoušen optický senzor DSL 9/C66-450-S12. Senzor byl nainstalován na provizorní konstrukci a byla naměřena data, ze kterých vyplývá, že senzor bude schopen zjistit polohu bočních trubek s milimetrovou přesností. Vzhledem k rozměrům konstrukce a velkým přípustným deformacím bude tato přesnost dostačující. Návrh systému byl předložen zástupcům firmy SAINT-GOBAIN ADFORS. Pro uvedení navržené brány do provozu bude třeba provést elektrotechnické zapojení senzorů a naprogramovat vyhodnocovací program.

V současné době probíhá kontrola geometrie pintracků na kalibru, do kterého jsou transportní nosiče zakládány pracovníky údržby. Pracovníci údržby pak subjektivně posoudí vhodnost dalšího použití. Pintracky určené ke kontrole jsou vybírány namátkově a není zajištěna pravidelná kontrola. Kontrola geometrie tedy v současné době probíhá namátkově, subjektivně a zabírá čas pracovníků údržby. Navržená měřicí brána umožňuje pravidelnou a automatizovanou kontrolu pintracků podle předem daných kritérií. Odpadá také ruční zakládání pintracků do kalibru, čímž se výrazně ulehčí práce pracovníků údržby.

Měřicí brána je univerzální hliníková konstrukce na kterou bude možno v budoucnu upnout senzory řešící problém s vybouleninami. Senzory by se mohly uchytit na spodní horizontální nosník (viz výkres BP-PV-3) a mohly tak spolehlivě detekovat vybouleniny způsobené nárazy paletových vozíků. Kromě vyboulenin bude v budoucnu potřeba vyřešit i další problémy popsane v textu.

Literatura

- [1] CHLEBNÝ, Jan. Automatizace a automatizační technika. 4., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2009, vii, 296 s. ISBN 978-80-251-2523-6.
- [2] MARTINEK, Radislav. Senzory v průmyslové praxi. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 199 s. ISBN 80-730-0114-4.
- [3] ĎAĎO, Stanislav. Senzory a měřicí obvody. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1996, 315 s. ISBN 80-010-1500-9.
- [4] VYLEGALA, Pavel. ROZDĚLENÍ SNÍMAČŮ, POŽADAVKY KLADENÉ NA SNÍMAČE, VLASTNOSTI SNÍMAČŮ. STŘEDNÍ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ, OSTRAVA [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: http://www.sse-na-jizdarne.cz/projekty/roboti/dokumenty/v_prez_ss_1.pdf
- [5] Indukční senzor. [2008]. COPTEL [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=2&id=10125>
- [6] Přehled výrobků. [2014]. Dostupné také z: <http://www.micro-epsilon.cz/download/products/cat-Micro-Epsilon-produkty-cz.pdf>
- [7] PEPPERL+FUCHS. [2014]. THE PULSE OF AUTOMATION: TECHNOLOGY GUIDE. Germany. Dostupné také z: http://files.pepperl-fuchs.com/selector_files/navi/productInfo
- [8] DMU418B-400.X3/LTC-M12 - Ultrasonic distance sensor. Leuze electronic [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://www.leuze.com/en/deutschland/produkte/messende_sensoren
- [9] LUKÁŠ, Michal. 2001. Laserové diody Část 1 - Princip funkce laserových diod. Elektrovue [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.elektrovue.cz/clanky/01034/index.html>
- [10] SALEH, Bahaa E. 1991. Fundamentals of photonics. New York: John Wiley, xviii, 966 s. ISBN 04-718-3965-5.
- [11] Fotorezistor. 2013. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotorezistor>
- [12] Snímače pro triangulační měření vzdálenosti. 2013. Automatizace.HW.cz [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/snimace-pro-triangulacni-mereni-vzdalenosti>
- [13] MICRO-EPSILON. [2014]. Laser Triangulation Displacement Sensors. Dostupné také z: <http://www.micro-epsilon.com/download/products/cat-optoNCDT-en-us.pdf>
- [14] Functional Principle of Pulse Ranging Technology (PRT). 2015. PEPPERL+FUCHS [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.pepperl-fuchs.com/global/en/23474.htm>

LITERATURA

- [15] SIKORA, Radomil. [2010]. Moderní trendy měření. Paskov. Dostupné také z: www.odpadoveforum.cz/DVD/dokumenty/prezentace/129.pps
- [16] Productfinder Sensors. Baumer [online]. 2015 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.baumer.com/us-en/products/productfinder>
- [17] Optická mříž. [2013]. Automatizace.HW.cz [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story_automat/10468/mlc_pouziti6.jpg
- [18] Výňatek z katalogového listu: Technická data PR32-030-P-2-F-S. 2015. PEP-PERL+FUCHS [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.pepperl-fuchs.cz/czech_republic/cs
- [19] DOUŠA, Ivan. 2006. Triangulační snímáče se stínovou projekcí. Praha. Dostupné také z: http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/zaverecne_prace Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
- [20] ŠNAJDÁREK, L. Metody 3D laserového skenování obrobků ve výrobním procesu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miroslav Opl.
- [21] Laser scanning: Chapter 2 of 3 - How It All Works. 2012. Youtube [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=1lDO1UevAJI>
- [22] Simatic Machine Vision. 2007. Dostupné také z: <http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files>
- [23] 3D skenery. [2014]. SolidVision [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.solidvision.cz/3d-skenery/>
- [24] Kamerové systémy pro kontrolu kvality. 2001. MM Průmyslové spektrum. 2001(7). Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/kamerove-systemy-pro-kontrolu-kvality.html>
- [25] The profile system. 2013. Dostupné také z: http://www.maytec.org/_neue_daten/sites/download/kataloge
- [26] Data sheet. Leuze electronic [online]. 2015 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.leuze.com/en/deutschland/produkte>

9. Seznam použitých zkratek a symbolů

Značka	Jednotka	Význam
a	[m]	Vzdálenost mezi vysílačem a detektorem
c	[m/s]	Rychlost zvuku
l	[m]	Vzdálenost od senzoru
N	[-]	Počet vln
R	[-]	Redukční faktor
S	[m]	Spínací vzdálenost pro materiál
S_n	[m]	Spínací vzdálenost pro ocel
t	[s]	Čas
α	[RAD]	Úhel dopadu paprsků
λ	[m]	Vlnová délka

10. Seznam příloh

1. Vybraný senzor
2. Výkresová dokumentace měřicí brány