



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

SYSTÉMY PRŮMYSLOVÉHO VIDĚNÍ A SNÍMÁNÍ **3D OBRAZU**

ROBOT VISION AND 3D IMAGE ACQUIRING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. DAVID ARNOŠT

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KUBELA

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. David Arnošt

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Systémy průmyslového vidění a snímání 3D obrazu

v anglickém jazyce:

Robot vision and 3D image acquiring

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je seznámit se problematikou snímání 3D obrazu v průmyslových aplikacích a navrhnout snímací zařízení, které bude vybaveno systémem SICK.

Cíle diplomové práce:

1. Seznamte se s kamerovým systémem SICK IVC 2D, jeho možnostmi programování a možnými způsoby komunikace s průmyslovými roboty Kuka.
2. Zaměřte se na problematiku snímání 3D obrazu pomocí systémů SICK.
3. Navrhněte snímací zařízení, které bude vybaveno liniovým laserem a kamerovým systémem SICK IVC 2D popř. Ranger.
4. Snímací zařízení bude řízeno pomocí PLC Beckhoff.
5. Funkčnost celého zařízení ověřte na demonstrační aplikaci.

Seznam odborné literatury:

1. SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4
2. PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3
3. NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Kubela

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 11.11.2010

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Bc. David Arnošt

Systémy průmyslového vidění a snímání 3D obrazu

Diplomová práce, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2011.

Diplomová práce určuje základní pojmy v oblasti strojového vidění. Popisuje používané kamerové systémy a možnosti snímání 2D a 3D obrazu. Praktická část se zabývá konstrukcí snímacího pracoviště tvořeného lineární osou, pásovým dopravníkem, kamerou a laserem. Pro experimentální použití snímacího pracoviště je konstrukce navržena s ohledem na snímání 3D obrazu pomocí několika metod.

Klíčová slova

Strojové vidění, 3D obraz, kamera, lineární osa

Abstract

Bc. David Arnošt

Robot vision and 3D image acquiring

Master's thesis, Institute of Production Machines, Systems and Robotics, 2011.

Master's thesis is describing basic concepts in machine vision. Used camera systems and possible imaging 2D and 3D are described. Practical part deals with constructin of scanning device with linear actuator, conveyor belt, camera and laser. For experimental use is construction of scanning device made for 2D and 3D image using several methods.

Key words

Machine vision, 3D image, camera, linear actuator

Bibliografická citace:

ARNOŠT, D. *Systémy průmyslového vidění a snímání 3D obrazu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kubela.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Tomáše Kubely a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne

.....
podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Tomáši Kubelovy za věnovaný čas a cenné rady při vypracování této diplomové práce. Dále rodině za podporu během celého studia.




Obsah

Obsah	9
1 Úvod.....	11
2 Základní informace.....	12
2.1 Historie	12
2.2 Strojové vidění	12
2.3 Princip strojového vidění.....	12
2.4 Možnosti systémů strojního vidění.....	14
2.4.1 Kamerový senzor	14
2.4.2 Inteligentní kamera.....	14
2.5 Snímače obrazu	16
2.6 Osvětlovače.....	17
2.7 Problémy při návrhu systému strojního vidění	18
3 Výrobci kamer – přehled českého trhu	19
4 SICK - 3D kamery Ranger.....	19
5 2D snímání obrazu.....	20
6 Možnosti 3D snímání obrazu.....	21
6.1 Pasivní metody	21
6.2 Aktivní metody	22
6.2.1 Time-Of-Flight Sensors	22
6.2.2 Phase-modulation sensors.....	23
7 Konstrukce	24
7.1 Pásový dopravník	25
7.2 Rám	26
7.2.1 1. varianta	26
7.2.2 2. varianta	27
7.2.3 Stanovení výšky rámu.....	28
7.3 Snímací hlava.....	31
7.3.1 1. varianta snímací hlavy	32
7.3.2 2. varianta snímací hlavy	33
7.3.3 3. varianta snímací hlavy	34
7.3.3.1 Konstrukce vozíku.....	34
7.3.3.2 Lineární vedení	35
7.3.3.3 Uchycení kamery a laseru.....	37



7.3.3.4 Odměření posuvu a natočení	38
7.3.3.5 Rám snímací hlavy	38
7.3.3.6 Orientační ekonomické zhodnocení	39
7.3.4 Zhodnocení variant	39
7.4 Lineární jednotka	40
7.4.1 Typy lineárních jednotek	40
7.4.2 Volba lineární jednotky	44
7.5 Odměřování polohy	48
7.5.1 Princip rotačních snímačů	48
7.5.2 Výběr snímače	49
7.5.3 Přesnost snímače	49
7.5.4 Montáž snímače	50
7.6 Motor	51
7.6.1 Volba motoru	51
7.6.2 Frekvenční měnič	52
7.6.3 Spojení motoru s lineární osou	52
7.6.3.1 Použití hřídelové spojky	53
7.6.3.2 Řemenový převod	56
7.6.3.3 Zhodnocení metod	57
7.7 Ochrana kabelů	58
7.8 Schéma řízení	60
7.9 Sestava experimentálního pracoviště	61
8 Závěr	62
9 Seznam použité literatury	63
10 Seznam zkratk a veličin	66
11 Seznam příloh	67

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1 Úvod

Průmyslové roboty a manipulátory (PRaM) se začínají stále více používat v různých oblastech strojírenské výroby (manipulace, svařování, montáž, ...). Jsou přesné, rychlé a brzy by mohly nahradit práci člověka v činnostech, které jsou nebezpečné, stereotypní nebo fyzicky namáhavé. Nevýhodou PRaM ovšem je, že nedokážou rozpoznávat objekty ve svém pracovním prostoru. Řešením tohoto problému může být použití 2D nebo 3D kamer. Nasazením těchto kamer se ještě zvýší přesnost průmyslových robotů a rozšíří se možnosti, ve kterých mohou být nasazeny.

V dnešní době se začínají používat tzv. inteligentní neboli smart kamery. Tyto kamery jsou vybaveny vlastním mikroprocesorem a RAM pamětí. Mezi hlavní důvody, proč se smart kamery používají čím dál častěji, patří vysoká výkonnost a možnost spolupráce několika kamer v síti prostřednictvím rozhraní Ethernet. Smart kameru lze také použít k úloze, u které by se jinak muselo využít několik standardních snímačů.

Cílem této diplomové práce je seznámit se s možnostmi snímání 3D obrazu v průmyslových aplikacích. Konstrukční část diplomové práce spočívá v návrhu experimentálního pracoviště, které bude umožňovat více možností snímání 3D obrazu. Změnu snímací metody bude zajišťovat snímací hlava, umístěná nad pásovým dopravníkem. Snímací hlava bude uchycena na lineární ose, která bude zajišťovat její pohyb. Lineární osa zajistí snímání součástí v celé délce pásového dopravníku i při jeho nefunkčnosti.



2 Základní informace

2.1 Historie

V sedmdesátých letech minulého století vznikl nový obor nazvaný počítačové vidění (anj. *computer vision*). V té době již počítače dosáhly takové úrovně, že dokázaly zpracovávat informace v podobě obrazového materiálu. Počítačovým viděním můžeme snímat téměř jakýkoliv pohyb nebo předmět (lidskou činnost, výrobní proces, atd.). Pro aplikace počítačového vidění v průmyslové výrobě se dnes obvykle používá termínu strojové vidění (anj. *machine vision*). [1]

Systémy strojového vidění byly však komplikované a drahé, proto započal přibližně před 20 lety vývoj smart kamer. Ty se měly přiblížit běžným sensorům a stát se kompaktním zařízením pro zpracování úloh strojového vidění. Při jejich vývoji byly použity v tehdejší době celkem nové technologie. Jednalo se o polovodičové snímače obrazu a mikroprocesory. [2]

2.2 Strojové vidění

Managementy firem se začátkem jednadvacátého století začaly orientovat na dosažení co největší kvality a splnění všech požadavků zákazníka. Přitom se však náklady musely zachovat na nejnižší možné hranici. V důsledku těchto trendů se začaly dostávat do popředí systémy strojového vidění. Tyto systémy umožňují kontrolovat každý vyrobený kus a nahrazují tak statistickou přejímku. [3]

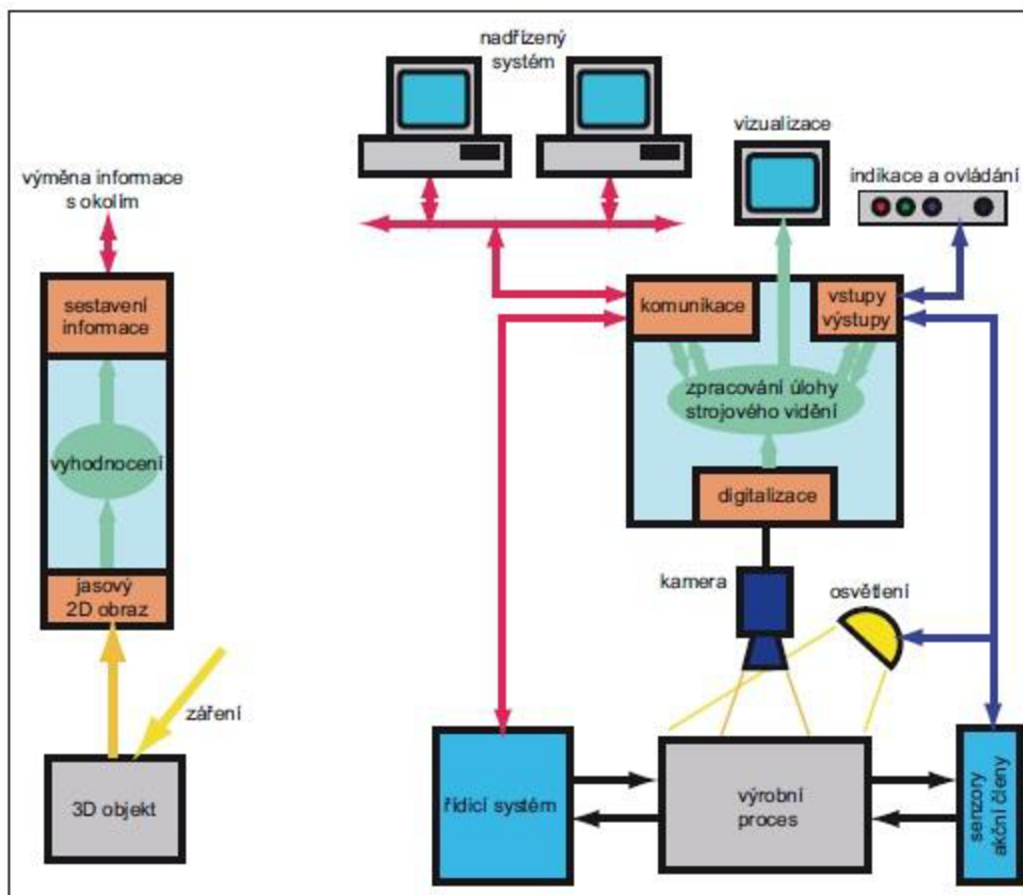
V dnešní době se strojové vidění charakterizuje jako využití počítačového vidění v průmyslové automatizaci. Je v přímém kontaktu s výrobním procesem a s úlohami spojené s jeho řízením (jedná se např.: o kontrolu důležitých parametrů, třídění dle barvy, atd.). Nasazení strojového vidění do výroby zapříčinily hlavně kvalitní čipy pro snímání obrazu a rychlé procesory s vysokým výpočetním výkonem. Tyto čipy byly levné a již se běžně objevovaly na trhu, jelikož se vyskytovaly v digitálních fotoaparátech. [1], [3]

Systémy strojního vidění vylučují lidský faktor se všemi jeho nevýhodami z procesu přímého provádění kontroly. Mezi výhody strojového vidění patří:

- *Rychlost*: snímání obrazu je rychlejší než použití měřidel
- *Univerzálnost*: na jedno sejmутí obrazu umožňuje několik kontrol a měření
- *Bezdotykovost a neinvazivnost*: netřeba upravovat výrobní zařízení
- *Automatizace*: přímé spojení se strojem, řídicím systémem
- *Flexibilita*: při měření jiné součástí se upraví jen software

2.3 Princip strojového vidění

Systém v podstatě pracuje tak, že kamera pořídí snímek požadovaného objektu. Ten se následně pošle do softwaru, kde se dle požadovaných podmínek provede kontrola objektu. Na základě toho provede software výslednou akci. Obecný princip uspořádání systému strojního vidění je uveden na obr. 1.



Obr. 1 Obecné uspořádání systému strojního vidění [1]

Abychom mohli požadovaný objekt (který je ve většině případů trojrozměrný) snímat pomocí kamery, je zapotřebí, aby byl dobře nasvícen. K tomuto účelu slouží zdroje záření – osvětlovače. Objekt musí být ozářen a odrážen záření tak, aby odražené záření vytvořilo na snímacím prvku senzoru jasový dvourozměrný obraz. Zároveň ale musí být v tomto obrazu obsažena informace, kterou potřebujeme o objektu znát. Dvourozměrný jasový obraz vzniká na snímacím prvku kamery. [1]

K získání požadovaných informací musí být obraz získaný ze snímacího prvku převeden na vhodnou veličinu. Veličinami jsou náboje nebo proudy, které poskytují prvky obrazového snímače, které jsou citlivé na světlo. Mohou také nést informaci o barevných složkách dopadajícího světla (černobílé a barevné kamery). K vyhodnocení obrazové informace je nutné převést analogové veličiny do digitálního tvaru, tzv. digitalizovat obraz. Digitální informaci lze zpracovat v počítači a získat požadovanou informaci v digitálním tvaru (provádí se tzv. image processing), která se předává do okolí digitálními výstupy nebo digitálním komunikačním rozhraním. Toto komunikační rozhraní se označuje jako MMI (Man-Machine-Interface) a obvykle se používá PC. [1]

Strojové vidění má také tu výhodu, že funguje jako zpětná vazba při řízení výrobního procesu. Systém pořídí snímek objektu a podle vyhodnocení obrazu provede akční zásah do procesu (indikace nebo vyřazení vadného kusu).



2.4 Možnosti systémů strojního vidění

Realizaci strojního vidění lze provést několika různými způsoby. Rozdělují se do čtyř skupin, které lze vzájemně různě kombinovat.

- Kamerový senzor (anj. *vision sensor*)
- Inteligentní kamera (anj. *smart camera*)
- PC systém (anj. *PC Vision*)
- Zákaznický systém (anj. *custom vision*)

2.4.1 Kamerový senzor

Kamerový senzor (obr. 2) patří k nejjednodušším systémům strojního vidění. Skládá se z kamery a osvětlovače, které jsou integrovány do společného pouzdra. Softwarové možnosti u těchto senzorů jsou omezené, proto mají vstupy a výstupy přidělenou určitou funkci (dobrý/špatný produkt, ...). Tyto digitální výstupy bývají s otevřeným kolektorem typu PNP nebo NPN s pracovním napětím do 30 V a ochranou proti přepólování a poškození napětovou špičkou při spínání indukční zátěže. Změna softwaru pro kontrolu nové součásti se realizuje pomocí MMI (např. pomocí Ethernetu), případně klávesnicí obsažené přímo na senzoru. K dalším charakteristickým znakům patří kompaktnost, zjednodušený hardware, omezená možnost použití a nižší cena. [1]

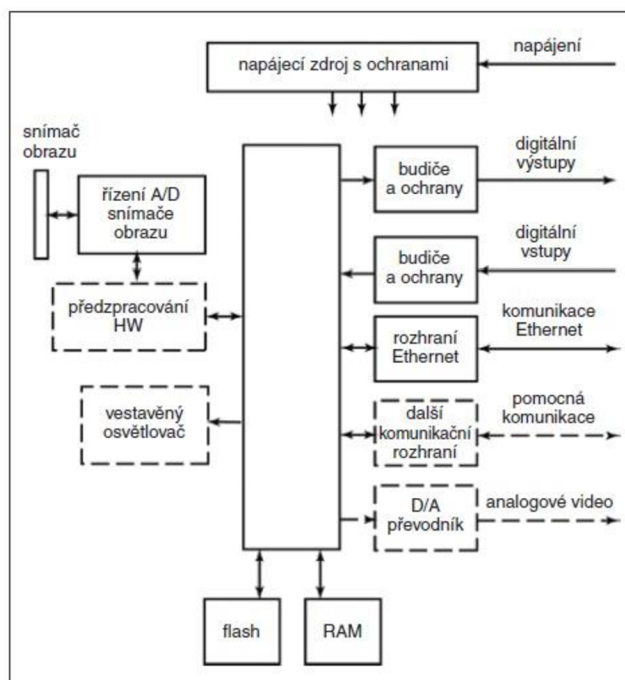


Obr. 2 Kamerový senzor [4]

2.4.2 Inteligentní kamera

Inteligentní kamery se začaly vyrábět zhruba před 20 lety a dnes jsou v průmyslu velmi rozšířené. Za jejich rozšířením stojí hlavně zvyšující se výkonnost a možnost spolupráce více kamer v síti. Začínají nahrazovat také standardní senzory. Jedna inteligentní kamera zvládne kontrolovat úlohu, jejíž kontrola pomocí senzorů by byla mnohem složitější. Blokové schéma inteligentní kamery je zobrazeno na obr. 3.

Pro snímání obrazu se nejčastěji používaly CCD snímače. Tento snímač poskytuje analogový signál, který se musí A/D převodníkem digitalizovat. Na trhu se začínají také objevovat senzory obrazu CMOS. Začaly se rozšiřovat kvůli velkému pokroku v jejich konstrukci a mohou tedy poskytnout obraz, který je kvalitou srovnatelný se snímačem CCD. Výhodou CMOS je jejich jednodušší obsluha a na snímací čip lze integrovat i A/D převodník společně s řídicími obvody. Snímání obrazu se řídí výpočetní jednotkou. Snímání pomocí mikroprocesoru nebo hardwarovou řídicí jednotkou se používá u výkonnějších kamer. [1], [2]



Obr. 3 Blokové schéma inteligentní kamery [2]

Jelikož inteligentní kamery (obr. 4) zpracovávají velké objemy dat, tvoří výpočetní část výkonný mikroprocesor. Někdy se používají i digitální signálové mikroprocesory (DSP). Používaným standardem je DSP Texas Instruments s frekvencí 400 MHz. Běžné jsou ale i procesory RISC s frekvencí 1 GHz. Inteligentní kamery používají dva druhy paměti a to flash a RAM. Ve flash paměti je uložen vytvořený program a parametry úlohy. Ta bývá zakomponována přímo v kameře, ale začínají se používat i externí paměťové karty typu SD nebo MM. Do RAM paměti se z flash paměti zkopíruje po inicializaci program a je spuštěn. Velikost RAM paměti je tedy určena hlavně velikostí programu. [1], [2]



Obr. 4 Inteligentní kamera Impact [5]

Digitální vstupy a výstupy jsou v provedení s otevřeným kolektorem typu PNP nebo NPN, s pracovním napětím do 30 V a s ochranou proti přepólování a poškození napětíovou špičkou při spínání indukční zátěže. Používají se lokálně, na zařízení s jedním napájením, kde se nevyskytují velké rozdíly potenciálu. Některé kamery mají vstupy a výstupy v signálu TTL (Tranzistor Tranzistor Logic), které ale vyžadují



galvanicky oddělený převodník úrovní a externí napájení. V případě, že vstupy a výstupy chybějí úplně, připojí se ke komunikačnímu rozhraní kamery I/O adaptér. [1]

Hlavní funkcí komunikačního rozhraní je připojení k rozhraní MMI (pomocí Ethernetu). Pomocí modulu lze také rozšířit počet vstupů a výstupů nebo zajistit komunikaci několika kamer při práci v síti. Pro připojení k PLC mohou být kamery vybaveny také sériovým rozhraním RS-232/422/485. [2]

Inteligentní kamery lze programovat dvěma způsoby. Výrobci mohou vyrábět kamery pouze s operačním systémem a dodávat knihovny, pomocí kterých si zákazník sám program napíše (např. v C++). Další možností je grafické vývojové prostředí, které se ovládá přes PC a program se následně nahraje do kamery. [2]

2.4.3 PC Systém

Na rozdíl od inteligentní kamery (která má vyhodnocovací jednotku zabudovanou uvnitř) používá PC systém jako vyhodnocovací jednotku osobní počítač s operačním systémem. Právě tento systém stál na počátku strojního vidění. V dnešní době ho však nahrazují inteligentní kamery. Největší výhodou je modularita a řešení úloh s využitím obrazů od několika kamer. [1]

2.4.4 Zákaznické systémy

Pokud zákazníkovi nevyhovuje ani jedna z předchozích možností, přistoupí se na individuální řešení. Jedná se o úlohy s vysokou rychlostí zpracování nebo použití nestandardních kamer. K řešení se používají procesory typu RICS nebo FPGA pole se softwarem vytvořeným na míru.

2.5 Snímače obrazu

Pro strojové vidění se používají dva druhy snímačů obrazu. Jedná se o:

- *CCD* (Charged Coupled Device)
- *CMOS* (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

CCD čip je pole obrazových prvků (pixelů) citlivých na světlo. Každý z těchto pixelů si lze představit jako vybíjený kondenzátor. Jakmile světlo dopadne na kondenzátor, nabije se volnými elektrony, které zachytí ve svém elektrickém poli a začne se postupně vybíjet. Velikost elektrického náboje závisí na intenzitě dopadajících světelných paprsků. Přechzení získané informace se provádí v jednom rohu čipu. Spodní řádek nabitých pixelů se přesune do rohu a přečte. Vrchní řádky jsou potom posunuty dolů a celý proces se opakuje. [6], [9]

CMOS snímač se skládá také z pole pixelů, ale kolem každého pixelu je několik obvodů, které sbírají a odvádí vygenerovaný elektrický náboj. [7]

2.6 Osvětlovače

Osvětlovače jsou velmi důležitou součástí systému strojového vidění, protože kamera může snímat pouze to co „vidí“. Proto je důležité, aby byl snímáný objekt správně nasvícen a tím získány co nejpřesnější informace. Pro opakovatelnost měření je také důležité, aby světelné podmínky zůstávaly stejné. To je ovšem obtížné z důvodu dalších zdrojů světla (přírodní světlo, osvětlení haly, atd.). Nejsnazším řešením je tyto zdroje světla odstínit. Ne vždy je to ale možné a potom lze použít osvětlovače s vyšším světelným tokem než okolní zdroje světla. Osvětlovače používáme pro dosažení maximálního kontrastu na místech objektu, které chceme měřit (tzv. zájmové části) na rozdíl od míst, které nás nezajímají (tzv. rušivé části). Pro vytvoření kontrastu mezi zájmovou a rušivou částí se pro používané geometrie osvětlení zavedlo následovné označení: [8], [10]

- Přední osvětlení s jasným zorným polem (anj. *bright-field lighting*)

Objekt je pomocí osvětlovače nasvícen tak, že odražené světlo dopadá přímo na objektiv kamery.

- Přední osvětlení s tmavým zorným polem (anj. *dark-field lighting*)

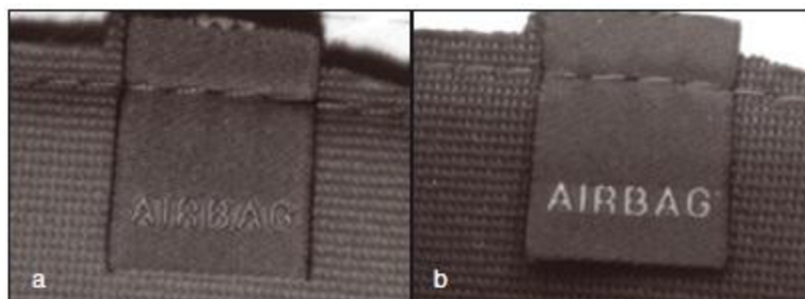
Objekt je nasvícen tak, aby se světlo dopadající na členité části objektu odráželo do objektivu kamery na rozdíl od povrchu objektu, který je odrážen mimo. Tímto způsobem se získá obraz členitosti povrchu v tmavém poli.

- Zadní rozptýlené světlo (anj. *back lighting*)


Objekt se nachází mezi objektivem kamery a osvětlovačem. Používá se zejména pro úlohy, kde je potřeba zjistit tvar součásti.

Ve většině případů se kamery pro strojové vidění dodávají již s vestavěným osvětlovačem, který dostačuje pro nejjednodušší případy měření. U složitějších úloh se přistupuje k externím osvětlovačům, v dnešní době téměř výhradně k LED osvětlovačům. K jejich výhodám patří dlouhá životnost, snadná regulace světelného toku, netřeba vysokého napětí a vlastnosti světla se s časem mění jen málo. [11]

Důležitým parametrem je použitá barva světla. Při snímání barevnou kamerou, kde je kladen důraz na přesné snímání barev se volí „bílé“ světlo. Největší potíže způsobuje infračervené záření (obr. 5). Může způsobit zhoršení rozlišovací schopnosti snímače a horší kresbu objektivu. [10]



Obr. 5 (a) osvětlení halogenovou zářivkou, (b) osvětlení bílým světlem [10]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2.7 Problémy při návrhu systému strojního vidění

V praxi se stále více začíná dbát na komplexní řízení jakosti (TQM), čehož lze ovšem dosáhnout pouze tehdy, je-li kontrolován každý výrobek zvlášť. Pro tuto kontrolu musíme vyloučit lidský faktor, jelikož každý člověk se dopouští chyb. Proto se velmi rychle rozšiřují systémy strojového vidění. Tyto systémy ale nejde využít vždy, je nutné rozumět základním principům zobrazování a práci s obrazovými daty. Z toho důvodu je velké procento neúspěšných řešení. Mezi nejdůležitější faktory, které ovlivňují systémy strojového vidění, patří: stanovení geometrického uspořádání systému, výběr kamery, objektivu, osvětlení a výběr vhodných technických a programových prostředků pro zpracování obrazových dat. [12]

Při stanovení geometrického uspořádání se určí počet, typ a rozlišení kamery a vzdálenost z jaké bude kamera součástí snímat. Dále se také stanoví osvětlovače a způsob eliminace rušivého světla. Při výběru kamery se nejvíce zvažuje, zda použít inteligentní kamery (zpracovávají obraz v rámci svého mikroprocesoru a paměti) nebo připojení kamery k počítači, kde se zpracovávají veškeré informace a jestli použít černobílý nebo barevný snímač. Při výběru barevného snímače můžeme využít jednočipové, tříčipové provedení nebo sekvenční snímání s černobílým senzorem a barevnými filtry.

Většina digitálních kamer s CCD čipem používá podobný integrovaný kamerový radič pro digitalizaci dat z čipu, který upravuje barvy a ztrátově komprimuje data do datového proudu ve formátech MJPEG nebo MPEG4. Tyto operace mají vliv na výslednou kvalitu obrazu a vzniká šum. K dosažení co nejlepšího obrazu se používají kamery, které poskytují syrová (tzv. RAW) obrazová data. Při použití těchto kamer se obraz barevně nevyvažuje a není také nikterak komprimován. Tím je zajištěna přesnost obrazu a v připojeném počítači lze obraz jakkoliv zpracovat bez ztráty kvality. [12]

K nejsložitější úloze při návrhu systému strojového vidění patří zřejmě volba správného osvětlení. Zde velmi záleží na zkušenostech a často i experimentech při návrhu. Mezi obzvlášť složité patří objekty, které jsou transparentní, lesklé nebo mají nevýraznou konturu. Nejčastěji se používá LED diodové osvětlení, které zajišťuje nejkvalitnější obraz. Mohou také nastat případy, kdy je třeba osvětlení řídit např. nastavovat jas nebo barvy. V tom případě je možné osvětlovače řídit přímo z kamer. [12]

3 Výrobci kamer – přehled českého trhu

SICK

Firma SICK je mezinárodní firma, která byla založena v roce 1946 v Německu. V průmyslové výrobě se řadí mezi největší výrobce senzorů a senzorových systémů. Mezi nabízené produkty patří i 3D kamery typové řady Ranger a IVC 3D Smart Camera.

FESTO

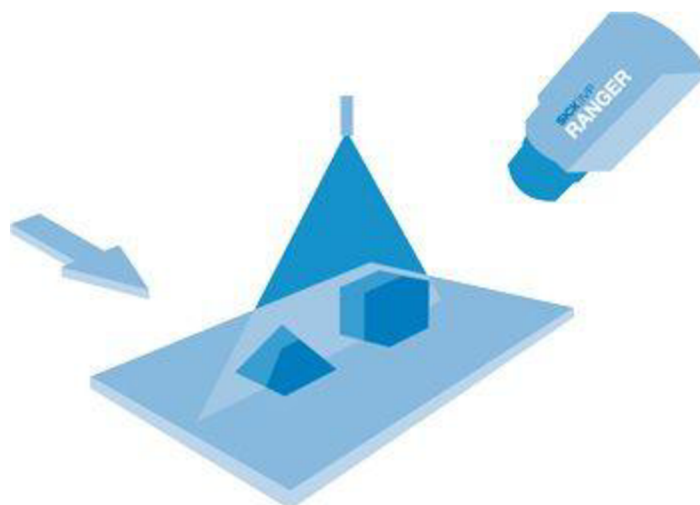
Firma FESTO se zabývá průmyslovou automatizací. Mezi její výrobky patří také kamery pro zpracování obrazu (sledování funkcí, kontrola kvality a polohy).

FCC průmyslové systémy s.r.o.

Firma FCC je jediným distributorem firmy Siemens a PPT Vision pro strojové vidění v ČR. Firma Siemens nabízí kamery Siemens SIMATIC, které jsou vybaveny CMOS nebo CCD čipem s rozlišením 640 x 480 pixelů. Americká firma PPT Vision má ve své produktové řadě inteligentní kamery Impact vybaveny procesory 1320 MIPS a pamětí 512 MB RAM.

4 SICK - 3D kamery Ranger

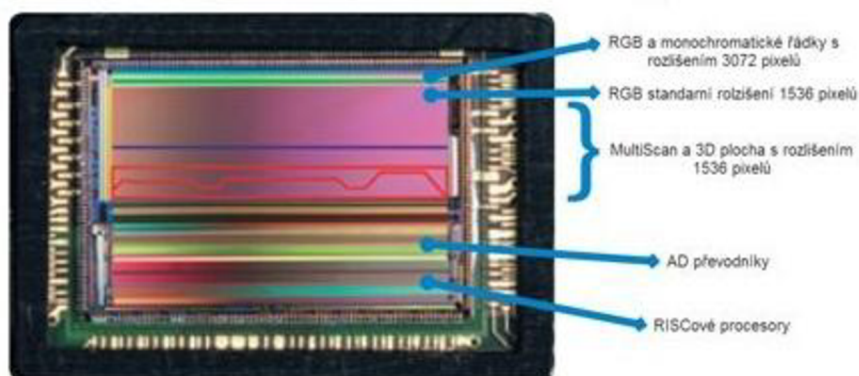
Firma SICK vyrábí 3D kamery ve dvou typových řadách – IVC 3D Smart Camera a Ranger. K 3D měření pomocí kamerového systému Ranger se využívá metoda skládání profilů objektu. Profily se získávají pomocí triangulační metody (obr. 6), kdy se měří vzdálenost mezi laserovou čarou, kterou tvoří laserový projektor a kamerou. 3D obraz je poté složen z takto nasnímaných profilů. K výhodám triangulační metody patří nezávislost na okolním osvětlení, vysoká přesnost měření a vysoká rychlost pohybu snímaného objektu. [13]



Obr. 6 Triangulační metoda měření [13]



Pro zajištění kvalitního obrazu slouží obrazový senzor CMOS M12 (obr. 7), který má firma patentovaný. Tento čip má integrované A/D převodníky a procesory typu RISC. Kamera je volně programovatelná a umožňuje funkci MultiScan. Díky tomu můžeme na objektu kontrolovat více parametrů najednou. Programování kamery se provádí na připojeném PC (nejedná se o inteligentní kameru) v prostředí C++ nebo v Ranger studiu, které se dodává společně s kamerami Ranger. Než bude kamera připravena k provozu musí se ještě zkalibrovat tzn. přepočít pixelů na milimetry nebo nastavit geometrie v reálných koordinátách. [13]

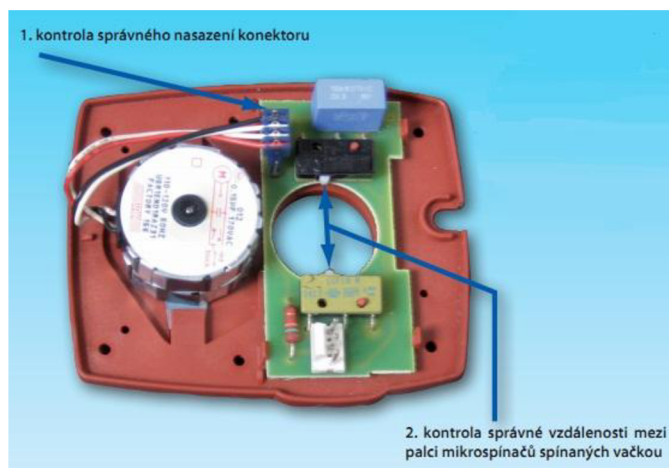


Obr. 7 Obrazový senzor kamery ColorRanger E55 [13]

5 2D snímání obrazu

Při 2D snímání se porovnává „naučený“ obraz v kameře s obrazem součásti. Před kameru se vloží vzor snímání součásti a označí se důležité elementy, které mají být kontrolovány. Tyto elementy si kamera uloží do paměti a následně je u každé součásti kontroluje. Tímto způsobem lze například kontrolovat umístění a zhotovení otvorů nebo správné montážní sestavení (obr. 8).

Aby kamera mohla správně snímat naučený vzor, je důležité, aby všechny součásti byly zhruba ve stejné poloze (zorném poli kamery). Důležité je také osvětlení, které by mělo být neměnné a dostatečné pro správné určování rysů snímání součásti.



Obr. 8 Ukázka kontroly důležitých částí sestavy [14]



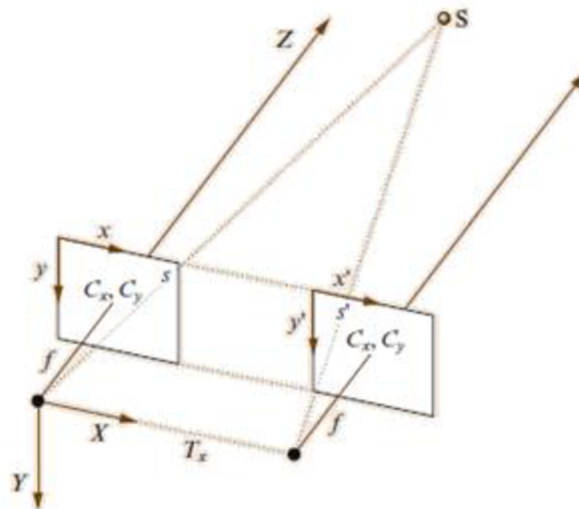
6 Možnosti 3D snímání obrazu

K získání 3D obrazu pro průmyslové použití se používá více metod, které lze rozdělit do několika skupin. Mezi hlavní skupiny patří:

- pasivní metody
- aktivní metody

6.1 Pasivní metody

Mezi pasivní metody získávání 3D obrazu se řadí stereovize. Stereovize spočívá ve snímání dvou nebo více obrazů požadované součásti, z nichž se vytvoří model. Základním principem této metody je triangulace (anj. *triangulation*). Triangulací se určuje vzdálenost součásti. Snímaný bod (součást) a dva body (ohniska kamer) tvoří trojúhelník. Známe-li vzdálenost mezi ohnisky kamer a úhel, který tvoří paprsky kamer ke snímanému bodu, lze bezpečně určit vzdálenost pomocí goniometrických funkcí. [15]



Obr. 9 Ideální geometrie stereovize [15]

Ideální geometrie stereovize (obr. 9) má globální souřadnicový systém vycentrovaný do ohniska (f) levé kamery. Ohnisková vzdálenost je u obou kamer stejná a hlavní paprsky (anj. *principal ray*) procházejí obrazovou rovinou C_x, C_y . [15]

Překážkou pro použití stereovize je nalezení odpovídajících pixelů (elementů) snímané součásti z obou obrazů kamer. Pro některé výpočtové algoritmy je zapotřebí také vysoký výkon hardwaru. Tohle omezení ovšem není natolik aktuální, jelikož výkon je již na dostatečně vysoké úrovni. Díky tomu poskytuje stereovize plně 3D zobrazení s úplnou vizuální informací.

Problém s nalezením a rozpoznáním pixelů (elementů) lze obejít pomocí lokální a globální rozpoznávací metody. Lokální metody porovnávají malé oblasti obrazu z jedné kamery do druhé na základě skutečných znaků součásti. Rozdělují se podle toho, zda porovnávají jednotlivé oblasti mezi obrazy nebo korelují místo na malé oblasti. Globální metody přitom doplňují lokální na základě uvážení fyzikálních omezení. [15]



6.2 Aktivní metody

K aktivním metodám patří nejčastěji senzory využívající laserový projektor:

- time-of-flight senzors (TOF)
- phase-modulation senzors
- senzory triangulace (anj. *triangulation senzors*)

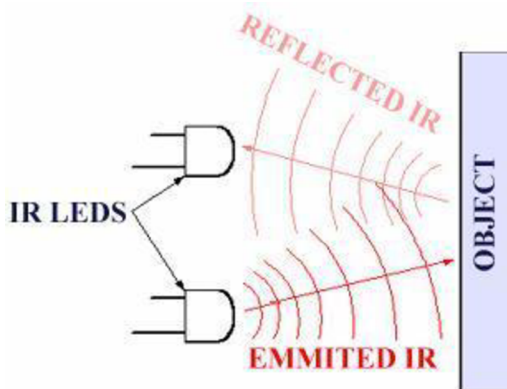
K výhodám laseru patří:

- (1) generují jednoduše světelný paprsek
- (2) snadné použití ultračervených paprsků
- (3) možnost vytvořit úzké svazky paprsků

Nevýhoda ovšem spočívá ve snímání lesklých povrchů jako je leštěný kov nebo sklo, kdy dochází k zrcadlovému odrazu (anj. *specular reflections*). Paprsek se poté může odrážet v nepředvídatelných směrech nebo projde skrz a nezíská se žádná informace o třetím rozměru. [15]

6.2.1 Time-Of-Flight Sensors

TOF senzory pracují na principu měření času vyslaného laserového paprsku směrem k pozorovanému objektu a jeho cesty zpět do detektoru, čímž se zjistí vzdálenost objektu (obr. 10). Jelikož TOF senzory používají laserový paprsek, nazývají se také někdy LIDAR (Light Detection And Ranging) nebo LADAR (laserové lokátory).



Obr. 10 Princip TOF senzorů [16]

TOF senzory většinou vysílají pouze jeden laserový paprsek. To znamená, že z povrchu součásti získáme informaci v podobě bodu. V praxi ovšem potřebujeme znát více informací. Proto je paprsek hnán soustavou zrcátek po povrchu objektu a tím získáme data v podobě vektoru. K pohybu zrcátek se používá krokový motor nebo rotační či oscilační zrcátka pro automatické skenování. Udávaná přesnost TOF senzorů je 5 - 10 mm. Mezi výrobce těchto senzorů patří SICK, Mensi, DeltaSphere nebo Acuity. [15]

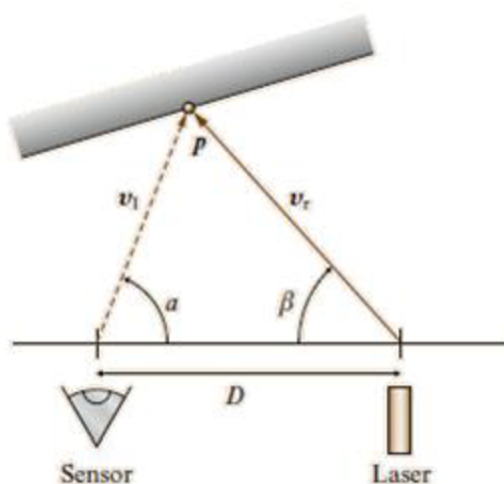


6.2.2 Phase-modulation sensors

Tyto senzory se rozdělují na dvě skupiny. V první je spojitý laserový signál modulován amplitudou nebo frekvencí. V druhé skupině je z pozorování fázového posunu mezi vyslaným a příchozím signálem odhadnut čas letu paprsku a z toho dále vzdálenost objektu. Přesnost senzorů je 5 mm. [15]

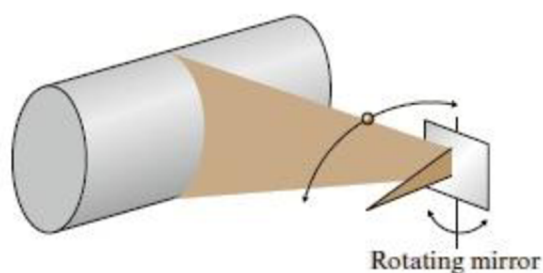
6.2.3 Triangulační senzory

Triangulační senzory pracují na podobném principu jako výše popsaná stereovize. Z laseru je vyslán paprsek na snímáný povrch. Takto vytvořený bod je pozorován senzorem. Určení 3D pozice bodu je podmíněno znalostí pozice, orientace laseru a senzoru a znalostí základní trigonometrie (obr. 11). [15]

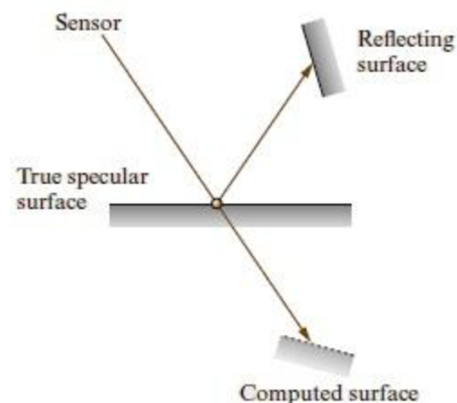


Obr. 11 Princip triangulačních senzorů [15]

Výhodou laseru o známé frekvenci je, že k němu můžeme přidružit spektrální filtr o stejné frekvenci. Filtr eliminuje všechno záření jasnější než laserový bod a umožní tak lepší snímání. Laserový bod lze také pomocí čoček a zrcadel přetvořit na pruh (anj. *stripes*), což umožňuje současné měření více bodů na povrchu součásti (obr. 12). Nevýhodou laseru je průchod paprsku skrz určité materiály (kovové nebo leštěné součásti). Tím vzniká zrcadlový odraz a dochází k nesprávnému výpočtu (obr. 13). [15]



Obr. 12 Snímání více bodů [15]



Obr. 13 Nesprávné určení pozice [15]



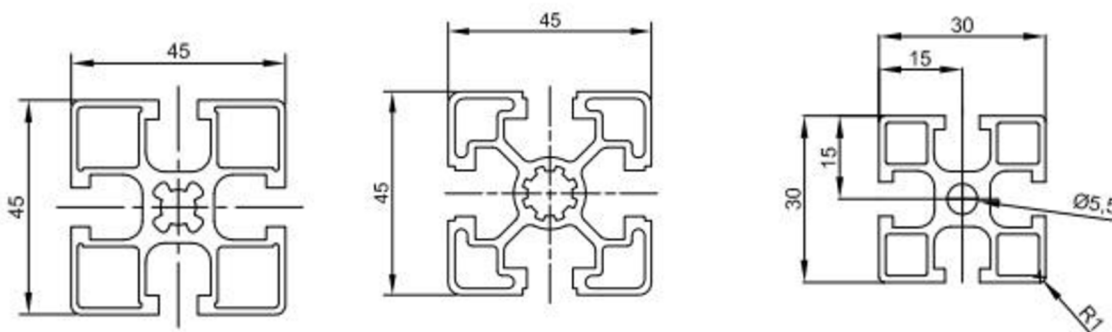
7 Konstrukce

Konstrukci zařízení pro snímání 3D obrazu lze rozdělit na čtyři hlavní části:

- pásový dopravník
- rám
- snímací hlava
- lineární osa

Konstrukce by měla umožňovat dva způsoby, jakým bude 3D obraz snímán. V prvním případě se budou součásti pohybovat na pásu dopravníku a snímací hlava se pohybovat nebude. V druhém případě budou součásti položeny na pásu dopravníku, který bude zastaven a snímací hlava se bude nad součástmi pohybovat.

V konstrukci se bude v co největší míře využívat hliníkového konstrukčního systému. Jedná se o hliníkové profily čtvercového průřezu. Tyto profily se vyrábějí v řadách s různými moduly (velikosti průřezu) a typu drážek (obr. 14).



Obr. 14 Modul 45

Modul 45 – drážka 10

Modul 30 – drážka 6 [17]

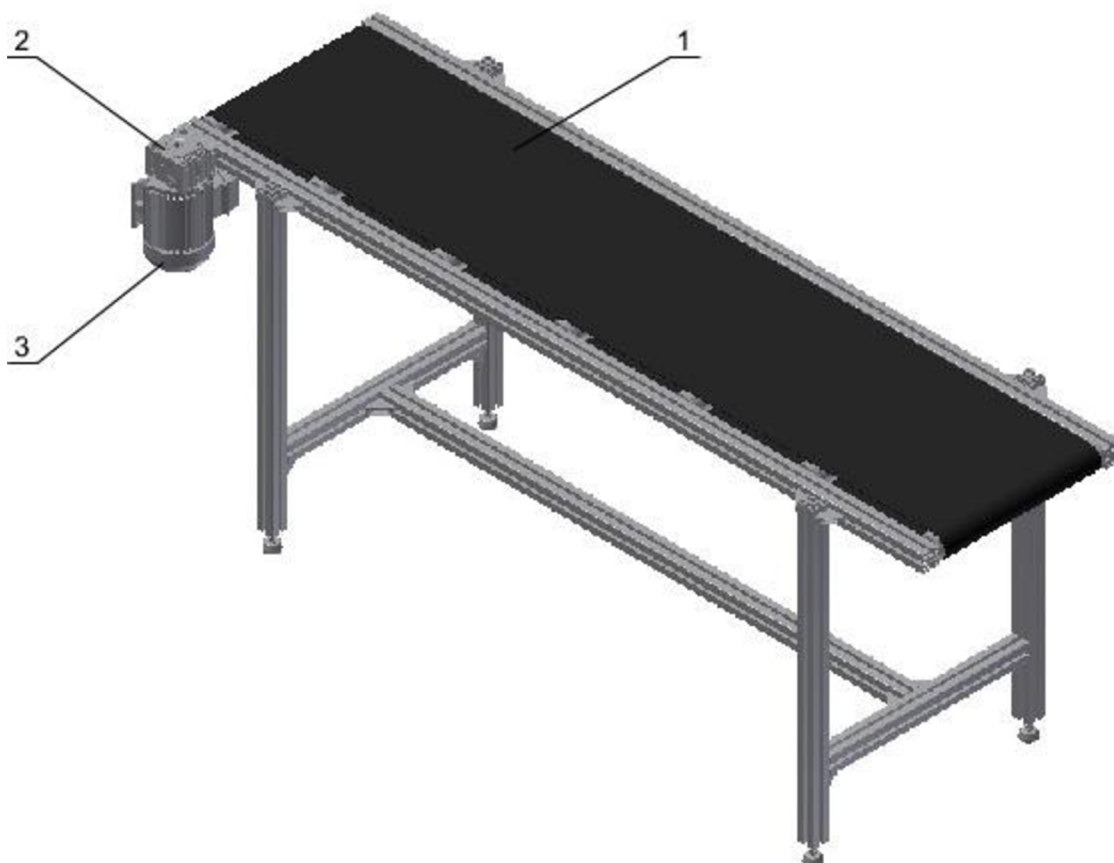
Každý modul se dále vyrábí v modifikaci s různým počtem drážek (jednodrážkové, dvoudrážkové, třídrazkové) a ve třech provedeních (ekonomický, lehký, standardní), které se liší svou vahou na jeden metr. Výhodou je, že se jedná o velmi jednoduchý systém, který zajišťuje rychlost montáže a variabilitu. Této vlastnosti využívají často výrobci jednoúčelových strojů, kdy mohou během vývoje operativně měnit technické řešení. V montáži se také neobjevují žádné svary a nemusí se používat žádné speciální nástroje. Ke vzájemnému spojení hliníkových profilů přes drážky stačí šrouby, matice a fixační úhelníky. Profily jsou vzájemně kompatibilní a lze tedy celou konstrukci upravovat dle dané potřeby. Pořizovací náklady jsou sice větší, ale čím je konstrukce složitější, tím je oproti svařované konstrukci levnější. Dále se redukuje čas výroby a zároveň je zaručená pevnost, která odpovídá svařovaným konstrukcím. Hliníkové profily budou zakoupeny u firmy Alutec K&K, jež se zabývá vývojem a výrobou těchto systémů. Dále nabízí kompletní spojovací příslušenství, pásové dopravníky, bezpečnostní ochrany pracovišť a strojů, manipulátory i celá výrobní pracoviště. [18]



7.1 Pásový dopravník

Pásový dopravník se nachází ve vlastnictví ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky. V diplomové práci tedy není řešen jeho návrh. Při návrhu rámu sestavy se vychází z konstrukce dopravníku a možnostmi jejich spojení.

Pásový dopravník byl vybrán z nabídky firmy Alutec K&K (obr. 15), který je také tvořen z hliníkového konstrukčního systému. Výhodou je snadná montáž k hliníkovým profilům, jen za pomoci fixačních trojúhelníků a šroubů. Dopravník byl vytvořen na zakázku a požadavkem byla černá barva pásu. Černá barva byla volena z toho důvodu, že dopravník bude sloužit pro aplikace snímání obrazu. Při snímání obrazu za pomoci kamery a laserů by v případě použití jiné barvy pásu mohlo docházet k nepřesnému snímání laserového paprsku a tím k získání nepřesné obrazové informace o objektu. Délka dopravníku je 2000 mm a výška 790 mm. Šířka pásu je 535 mm. Dopravník je poháněn třífázovým asynchronním motorem od italské firmy Bonfiglioli s výkonem 0,18 kW a se šnekovou převodovkou s točivým momentem $M_s = 24 \text{ Nm}$. [22]



Obr. 15 Schéma pásového dopravníku

1 – pásový dopravník, 2 – šneková převodovka, 3 – asynchronní motor

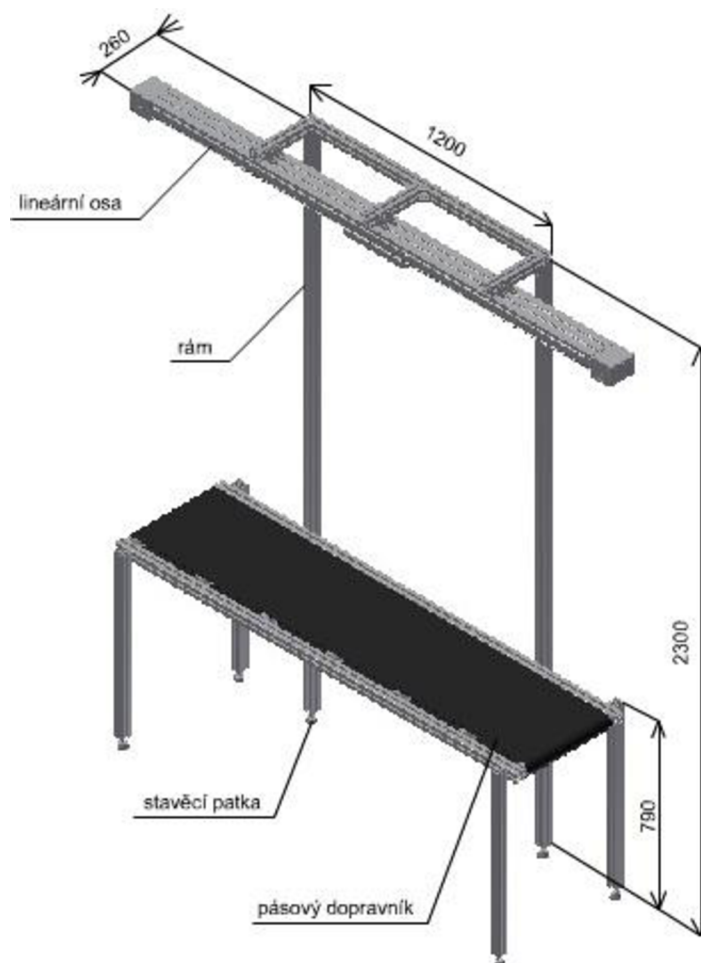


7.2 Rám

Konstrukce rámu bude kompletně provedena pomocí hliníkových profilů, které již byly popsány v předchozí kapitole této práce. Konkrétně budou použity hliníkové profily modulu 45 standardního provedení s drážkou 8.

7.2.1 1. varianta

Konstrukce rámu se skládá ze dvou hlavních hliníkových profilů délky 2300 mm, které jsou k zadní straně rámu pásového dopravníku přichyceny přes drážky pomocí fixačních trojúhelníků a šroubů M8. Jejich vzájemné spojení je realizováno profilem délky 1200 mm. Na kraji a uprostřed tohoto profilu jsou umístěny tři profily délky 260 mm, které slouží k uchycení lineární osy. Rám je s lineární jednotkou spojen fixačními trojúhelníky a šrouby. Profily, které budou v dotyku s podlahou, jsou pro lepší stabilitu opatřeny stavěcími patkami. Tato konstrukce (obr. 16) je méně robustní a lehčí (váha rámu činí 17,25 kg). Nevýhodou ovšem je, že nelze měnit výšku lineární osy.

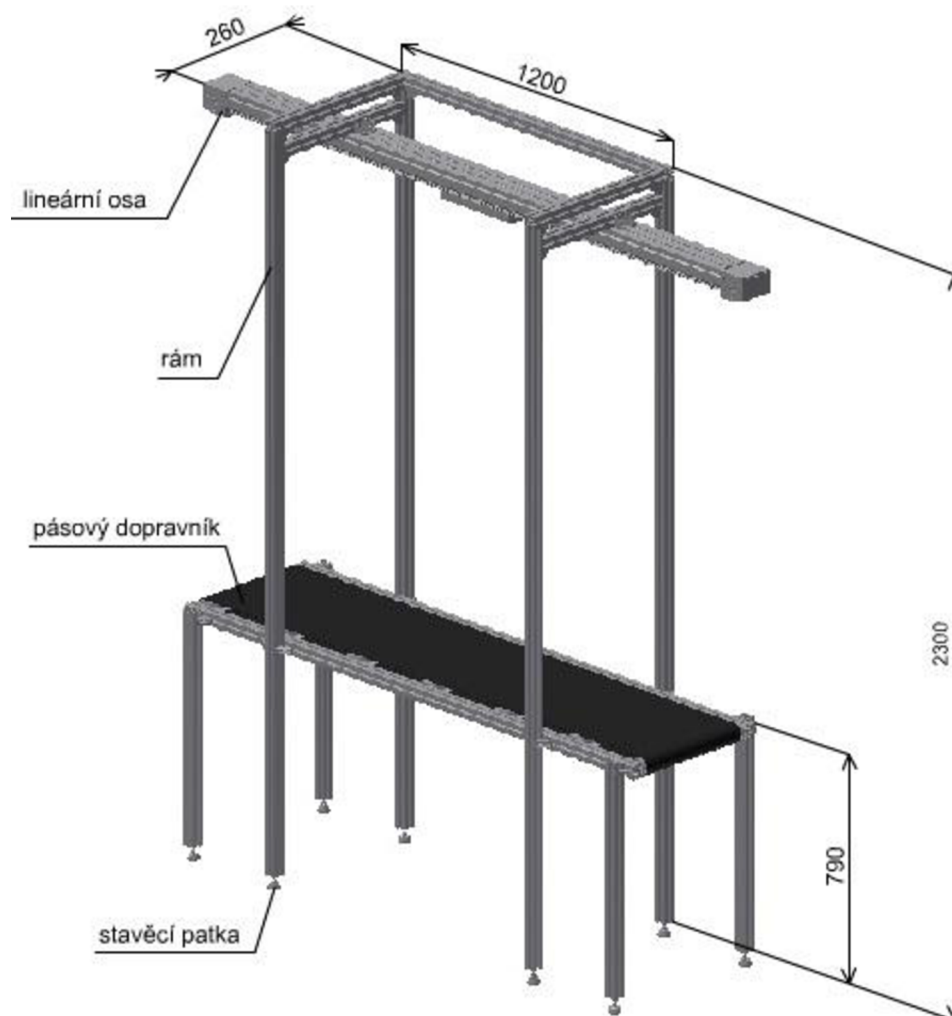


Obr. 16 1. varianta rámu



7.2.2 2. varianta

Hlavní částí budou čtyři profily délky 2300 mm, které budou uchyceny pomocí fixačních trojúhelníků, sadou šroubů a matek M8 k rámu pásového dopravníku. Pro správný styk s podlahou budou profily opatřeny stavěcími patkami. Vzdálenost od kraje dopravníku bude 400 mm a vzdálenost mezi profily 1110 mm. Nosné profily budou tedy rovnoměrně vzdáleny od středu rámu dopravníku. Horní konstrukce rámu bude tvořena profilem délky 1200 mm, který se spojí opět přes fixační trojúhelníky. Horní část bude uzavřena dvěma profily délky 580 mm. Ve vzdálenosti 40 mm od jejich spodní plochy budou umístěny další dva profily délky 535 mm, které slouží k uchycení lineární jednotky. Lineární jednotka bude umístěna na těchto profilech z toho důvodu, aby se mohla měnit její výška v závislosti na velikosti snímané součásti a nedocházelo do zásahu celé konstrukce rámu. Jelikož se na jednotce také nacházejí drážky, bude s rámem spojena osmi fixačními trojúhelníky pomocí šroubů M6. Váha takto tvořeného rámu bez osy bude činit 28 kg. (obr. 17)



Obr. 17 2. varianta rámu



7.2.3 Stanovení výšky rámu

Výška rámu se stanovila na základě potřeby obsáhnout laserovým paprskem celou šířku pásového dopravníku. Součásti se poté nemusí nacházet v přesném středu dopravníku a mohou být volně položeny. Základním parametrem, určující výšku je úhel vyzařování laserového paprsku z laseru (obr. 18). Pro laser od firmy SICK činí tento úhel 30° . Pro výpočet se trojúhelník, který vznikne vyzařováním laseru, rozdělí na dva pravouhlé trojúhelníky. Počítat se poté bude s úhlem 15° . Jelikož šířka pásu dopravníku, na kterém budou umístěny součásti, je 535 mm, bude se po rozdělení počítat s délkou $y = 267,5$ mm. Pokud tedy bude laser kolmo k dopravníku, rozměr x se zjistí dle trigonometrických vztahů.

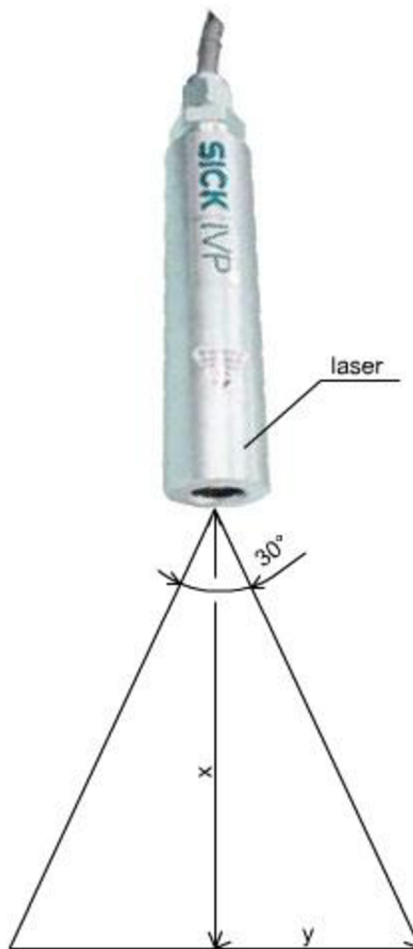
$$\begin{aligned}\alpha &= 15^\circ \\ y &= 267,5 \text{ mm} \\ x &= ?\end{aligned}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x}$$

$$x = \frac{y}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$x = \frac{267,5}{\operatorname{tg} 15}$$

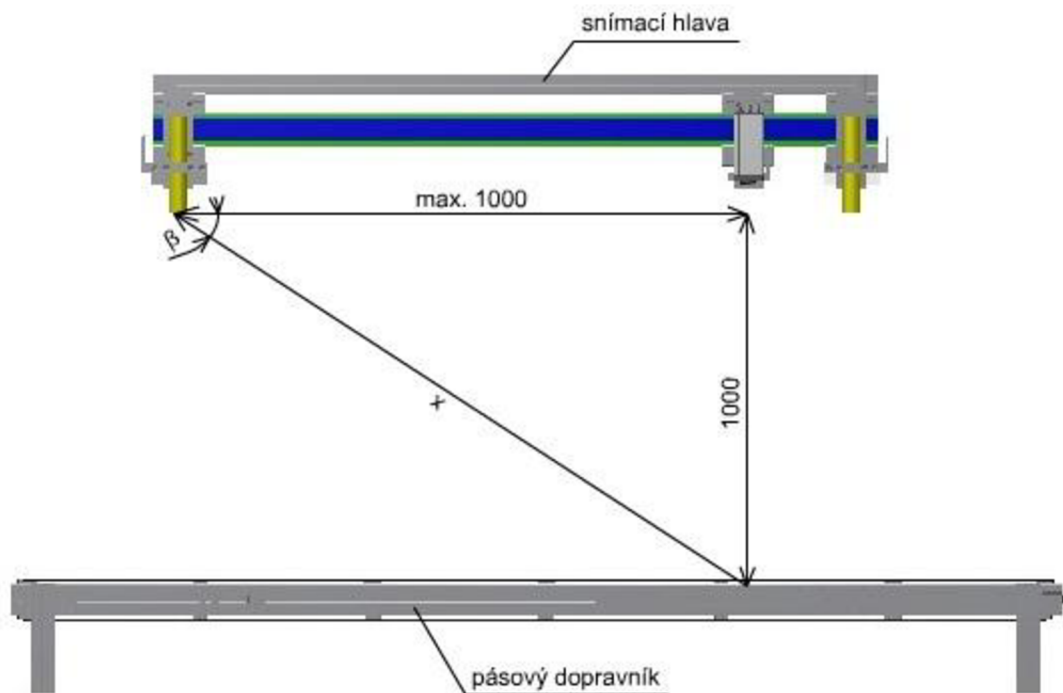
$$x = 998,3 \text{ mm} \cong 1000 \text{ mm}$$



Obr. 18 Úhel záření laseru

Aby laser pokryl paprskem celou šířku dopravníku, musí být umístěn ve výšce alespoň 1000 mm nad pásem dopravníku.

Laser ovšem nebude stále v kolmé poloze vůči dopravníku a kvůli různým způsobům snímání obrazu se bude i natáčet pod určitým úhlem β . Tím se změní rozměr x . Úhel natočení se odvíjí od maximální vzdálenosti mezi kamerou a laserem. Čím větší tato vzdálenost bude, tím menší bude úhel. Maximální vzdálenost při použití jednoho laseru činí 1000 mm (obr. 19). Při snímání obrazu s použitím obou laserů může maximální vzdálenost mezi vozíky laseru a kamerou nabývat hodnoty až 550 mm. Lasery jsou na obrázcích zobrazeny schematicky žlutými válci.



Obr. 19 Vzdálenost při snímání jedním laserem

Úhel β a rozměr x se vypočítá opět přes trigonometrické funkce.

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1000}{1000}$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$\cos \beta = \frac{1000}{x}$$

$$x = \frac{1000}{\cos 45} = 1414,2 \text{ mm}$$

Vzdálenost, kterou při tomto nastavení laser pokryje, se rovná dvojnásobku y :

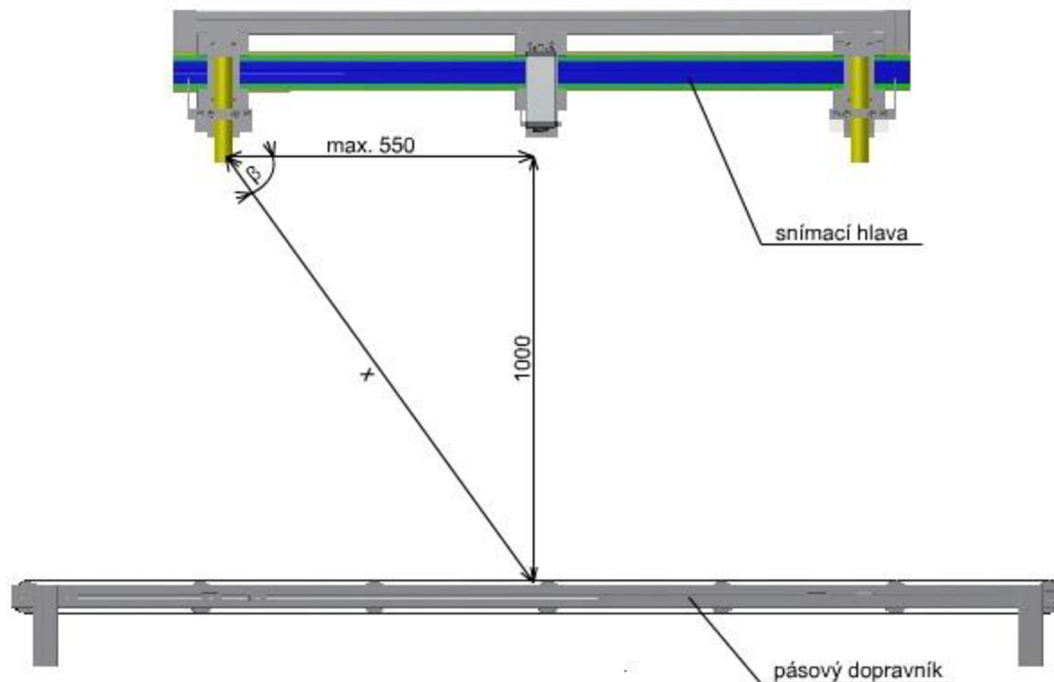
$$\operatorname{tg} 15 = \frac{y}{1414,2}$$

$$y = \operatorname{tg} 15 \cdot 1414,2 = 378,9 \text{ mm} \gg 2y = 757,8 \text{ mm}$$



Při nastavení maximální vzdálenosti se laserovým paprskem pokryje šířka o délce 757,8 mm a úhel natočení β bude 45° . To nám umožní snímat rozměrnější součásti, které budou v klidu, a osa se snímací hlavou nad nimi bude přejíždět.

Snímání s využitím obou laserů (obr. 20) nám zmenší šířku, kterou laser pokryje. Konkrétně:



Obr. 20 Vzdálenost při snímání dvěma lasery

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1000}{550}$$

$$\beta = 61^\circ$$

$$x = \frac{550}{\cos 61} = 1134,5 \text{ mm}$$

Vzdálenost, kterou při tomto nastavení laser pokryje, se rovná dvojnásobku y :

$$\operatorname{tg} 15 = \frac{y}{1134,5}$$

$$y = \operatorname{tg} 15 \cdot 1134,5 = 304 \text{ mm} \gg 2y = 608 \text{ mm}$$

Na základě těchto výpočtů byla zvolena vzdálenost mezi laserem a pásem dopravníku 1000 mm a maximální vzdálenost při snímání oběma lasery je 550 mm. Za těchto podmínek bude vždy dodržena podmínka pokrytí celého pásu laserovým paprskem. Výška rámu s ohledem na rozměry lineární osy a spojovacích profilů dosáhne 2345 mm.

7.3 Snímací hlava

Jelikož sestava bude sloužit k experimentálnímu snímání 3D obrazu musí umožňovat, na rozdíl od praxe, různé metody snímání (jedním nebo dvěma lasery, různý úhel natočení kamery, laserů atd.). Proto je požadavek na konstrukci snímací hlavy takový, aby umožňovala natáčení kamery i laserů a aby se mezi nimi dala volně měnit vzdálenost. Dále muselo být splněno, aby bylo možné kameru a lasery zajistit proti pohybu při pojezdu snímací hlavy nad zastaveným dopravníkem. Z těchto požadavků vzniklo několik možných variant.

Ke snímání obrazu bude sloužit smart kamera IVC-2DM1122 od firmy SICK (obr. 21). Kamera je vybavena 1/3" CCD obrazovým senzorem s elektronickou spouští (závěrkou), procesorem o frekvenci 800 MHz a 128 MB RAM paměti + 16 MB flash paměti. Maximální rozlišení kamery je 1024 x 768 pixelů. Hloubka ostrosti kamery je od 100 mm do 4 m. Dále je vybavena komunikačními rozhraními RS-485, Fast Ethernet (10/100 Mbit/s) a OPC. [19] Tyto rozhraní umožní snadnou komunikaci s PLC, průmyslovými roboty a kontrolními systémy. Programování kamery se provádí pomocí programu IVC Studio, které je dodáváno společně s kamerou.



Obr. 21 IVC-2DM1122 [19]

Průmyslové laserové projektory (lasery) budou stejného typu a budou taktéž od firmy SICK. Jedná se o Ranger accessory laser (obr. 22) a jeho vlnová délka je 660 nm, vyzařovací úhel 30° a hloubku ostrosti od 100 mm do 4 m. [19]

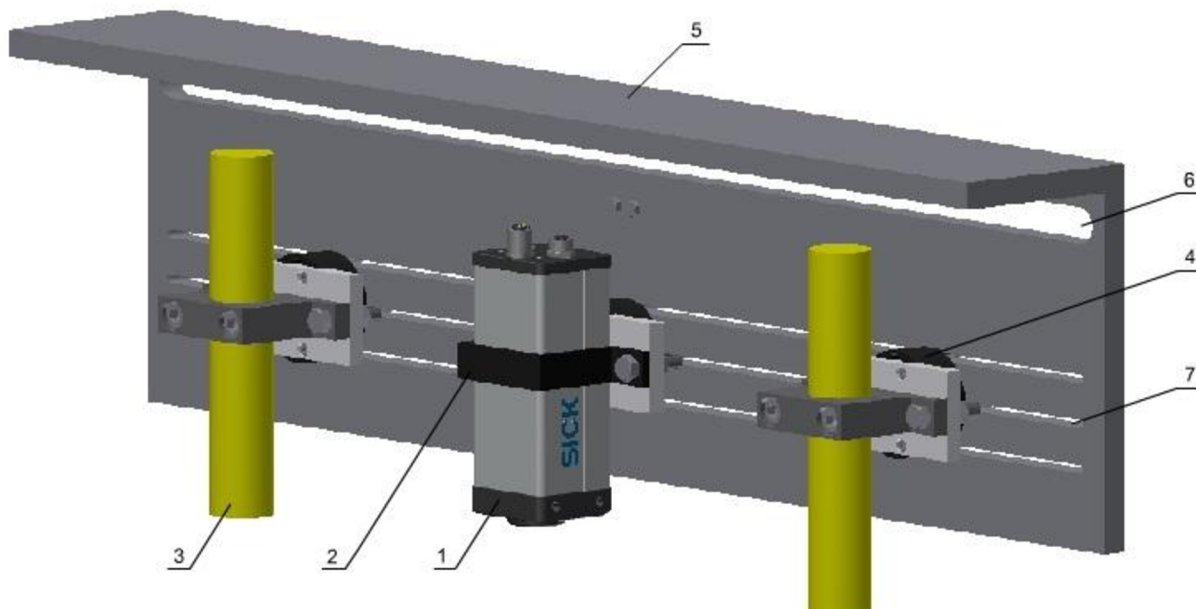


Obr. 22 Laser SICK [19]



7.3.1 1. varianta snímací hlavy

U prvního návrhu se pro nastavování úhlu natočení kamery a laserů používají rotační plošiny od firmy MISUMI. Ty jsou přímo určené pro polohování snímačů nebo LED osvětlení. Rozlišitelnost je dána typem plošiny v rozmezí 1°, 2° nebo 5°. K plošinám se připevní pomocí zápusťných šroubů M4 ocelové desky, na kterých je pomocí objímky a příruby tvaru T uchycena kamera a lasery. Takto vytvořené sestavy se umístí na nosnou desku. Nosná deska tvaru L slouží k uchycení k lineární ose a k posuvu kamery a laserů. Posuv zajišťují tři drážky vyfrézované do nosné desky, ve kterých se pohybují šrouby M4 zapuštěné v rotační plošině. Pro změnu polohy se povolí křídlové matice na konci šroubů a po nastavení se opět utáhnou, čímž se zajistí poloha. Drážka vyfrézovaná v horní části nosné desky slouží k odvodu pracovních kabelů. Lasery jsou na obr. 23 schematicky znázorněny žlutými válci.



Obr. 23 1. varianta snímací hlavy

1 – kamera, 2 – objímka, 3 – laser, 4 – rotační plošina MISUMI, 5 – nosná deska,
6 – drážka pro kabely, 7 – drážky pro pohyb kamery a laserů

Orientační cenové zhodnocení:

3x rotační plošina MISUMI REG60

3x 135,5€ ~ 9800 Kč

2x příruba SHTDT

2x 22,16€ ~ 1100 Kč

Nosná deska – ocel 1400x200x15

~ 5000 Kč

Šrouby, matky, 3x deska

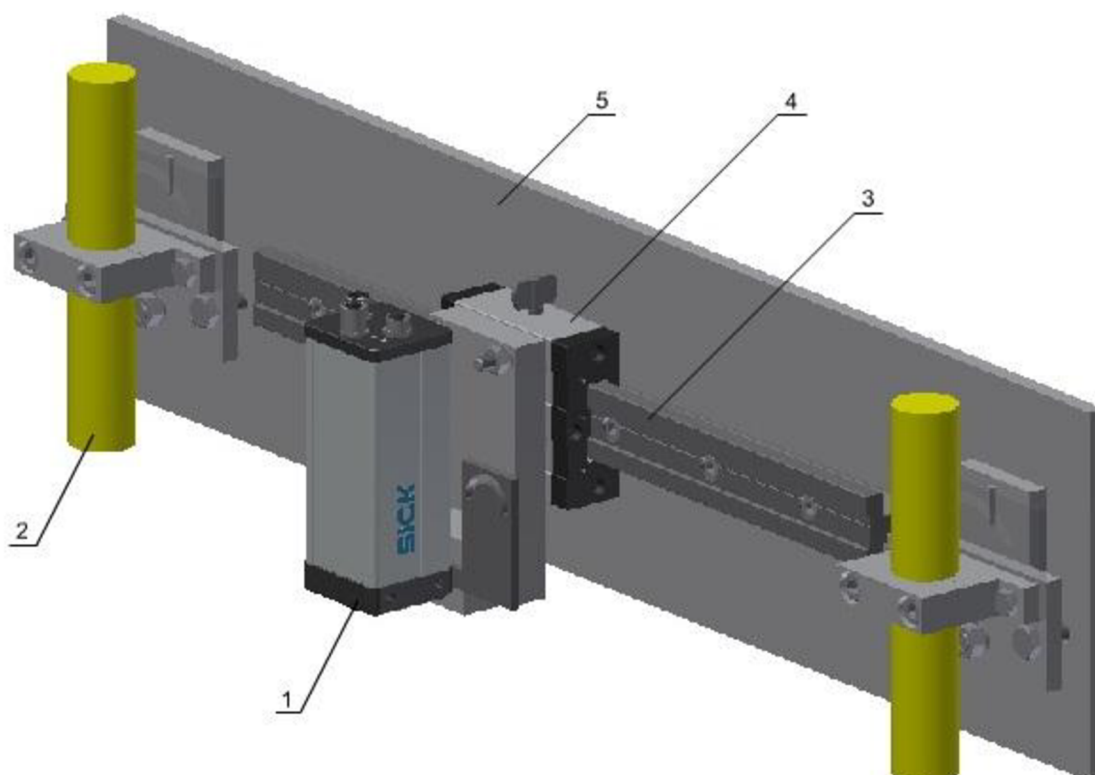
~ 1200 Kč

cca 17100 Kč



7.3.2 2. varianta snímací hlavy

I v této variantě se využilo nosné desky, na které byly přišroubovány všechny ostatní součásti. K natáčení již nesloužily rotační plošiny, nýbrž šrouby zašroubované v kostce, na které byly snímací zařízení uchyceny. Po jejich povolení se nastavil požadovaný úhel. Lasery se tentokrát nepohybovaly a posuvný pohyb konala pouze kamera. Posuv kamery byl zajištěn systémem DryLin® T od firmy IGUS (obr. 24). Lineární systém DryLin® T pracuje s obíhajícími kuličkami na kluzných destičkách pohybujících se po profilové kolejnici, která je k desce uchycena sadou šroubů a matek M8. Aretaci polohy zajišťuje vozík, který je vybaven ručním upínáním. [20]



Obr. 24 2. varianta snímací hlavy

1 – kamera, 2- laser, 3 – profilová kolejnice, 4 - vozík s ručním upnutím,
5 – nosná deska

Orientační cenové zhodnocení:

2x příruba SHTDT	2x 22,16€ ~ 1100 Kč
Vozík DryLin T	1987 Kč
Kolejnice DryLin T – 1 m	2325 Kč
Nosná deska 1400x200x15	~ 5000 Kč
Šrouby, matky, 3x deska	~ 1200 Kč

cca 11612 Kč

Z varianty bylo upuštěno z důvodu konečného rozhodnutí i o posuvu laserů. Při využití systému DryLin T i pro lasery by se cena dostala na hodnotu první varianty.



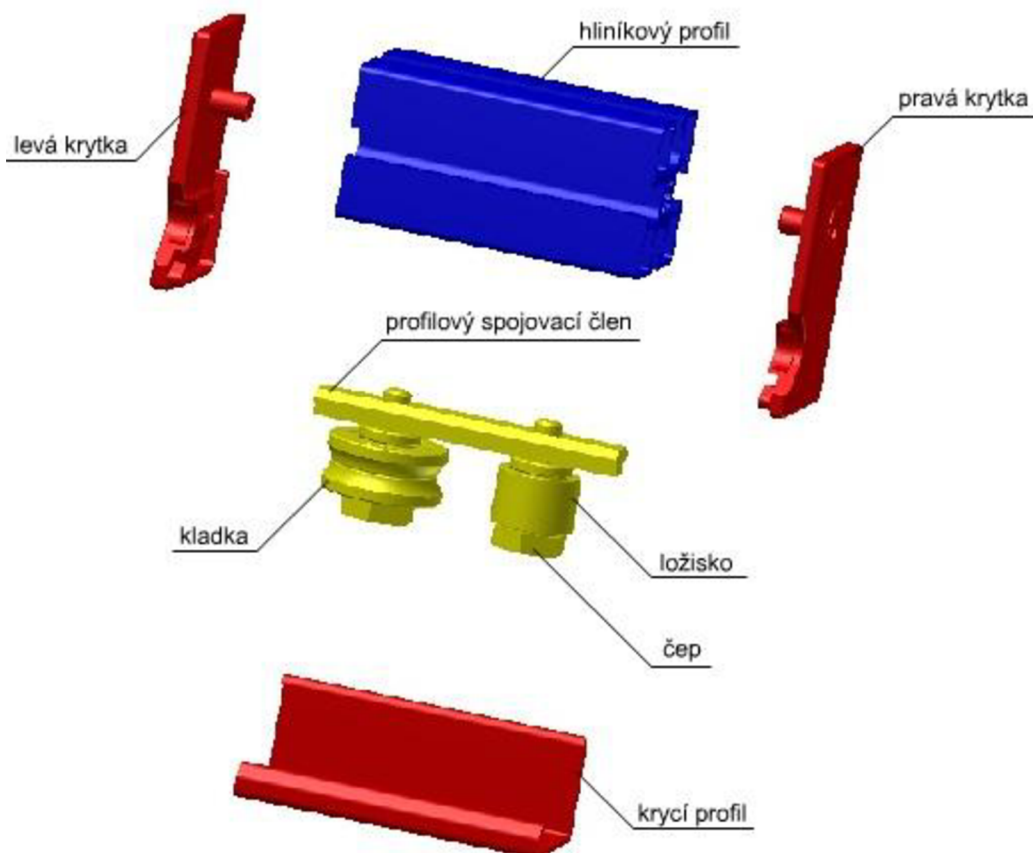
7.3.3 3. varianta snímací hlavy

7.3.3.1 Konstrukce vozíku

Pro vzájemný posuv kamery a laserů se zdá být neoptimálnější využít vozíky pohybující se po profilové kolejnici nebo lineárním vedení. Firma Alutec nabízí kromě hliníkových profilů také celkové řešení lineárního vedení. 3. varianta se tedy skládá kompletně z dílů této firmy.

Vozíky od firmy Alutec se neprodávají v typových řadách, ale jsou ve formě volných komponent, které si zákazník objedná v požadované délce pro svou aplikaci. Vozík se skládá z krycího profilu, který společně s levou a pravou krytkou tvoří tělo vozíku. Do vrchních částí krytek se přišroubuje hliníkový profil o modulu 45, který tvoří nosnou část vozíku. Pohyb vozíku po vedení zajišťují rolny, které se skládají z čepu, kladky a ložiska. Rolny se po složení umístí na profilový spojovací člen. Takto vytvořená sestava se přes profilový spojovací člen vsune do drážky hliníkového profilu. Tím vznikne kompletní vozík (obr. 25). [17]

Pro stabilitu vozíku bylo zvoleno použití dvou roln. Délka vozíku a tím i komponent (AL profilu, spojovacího členu, krycího profilu) je 100 mm. Vozík bude použit pro posuv kamery i obou laserů.



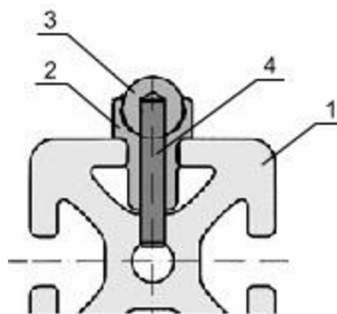
Obr. 25 Schéma rozloženého vozíku

7.3.3.2 Lineární vedení

Délka vedení byla zvolena na základě předchozího výpočtu maximální vzdálenosti mezi kamerou a lasery. Při vzdálenosti mezi kamerou a laserem 2x 550 mm a délce vozíku 3x 100 mm, vychází celková délka vedení 1400 mm. Lineární vedení se skládá z hliníkového profilu (nosný základ), profilu pro vodící lištu a z vodící lišty. Stejně jako u vozíku, délku jednotlivých komponent si zákazník volí dle své potřeby. Konkrétně v tomto případě to bude u všech komponent zmíněná délka 1400 mm. Stejně tak se může zvolit i provedení hliníkového profilu.

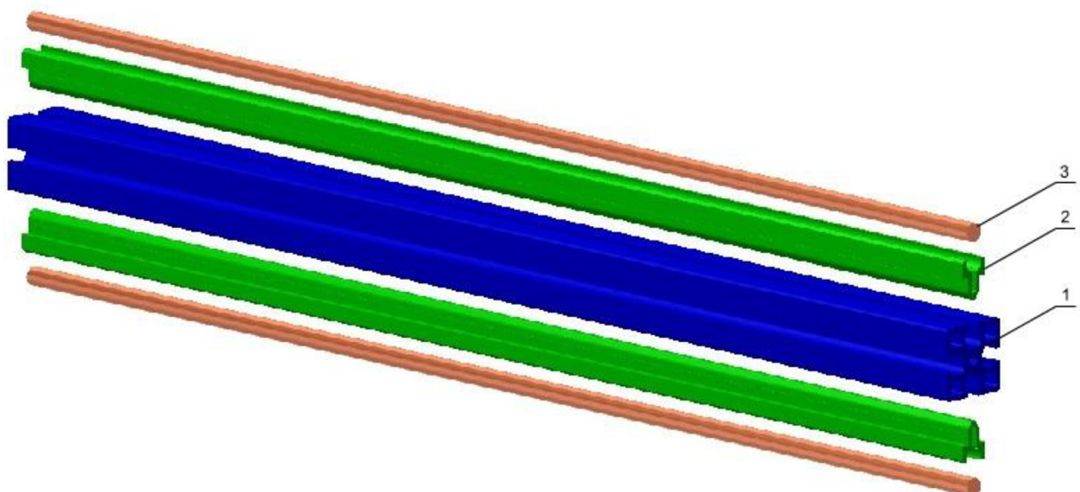
Jelikož celá konstrukce je provedena hliníkovým profilem modulu 45, je i zde zvolen tento modul. Není ovšem použito standardní provedení, ale ekonomické a to z toho důvodu, že je o 0,95 kg/m lehčí. Tímto krokem se sníží váha snímací hlavy, což bude mít pozitivní vliv na klopné momenty.

Do hliníkového profilu se nasune profil pro vodící lištu, do které se následně zaklapne vodící lišta. Zajištění vedení proti posuvu je provedeno pojistným kolíkem: Z obou stran vedení je ve vzdálenosti 30 mm vyvrtán otvor přes vodící lištu a oba profily. Do otvoru se vloží hmoždinka, která brání vedení v posuvu (obr. 26). [21]



Obr. 26 Zajištění vedení pojistným kolíkem [21]

1 – hliníkový profil, 2 – profil pro vodící lištu, 3 – vodící lišta, 4 – pojistný kolík

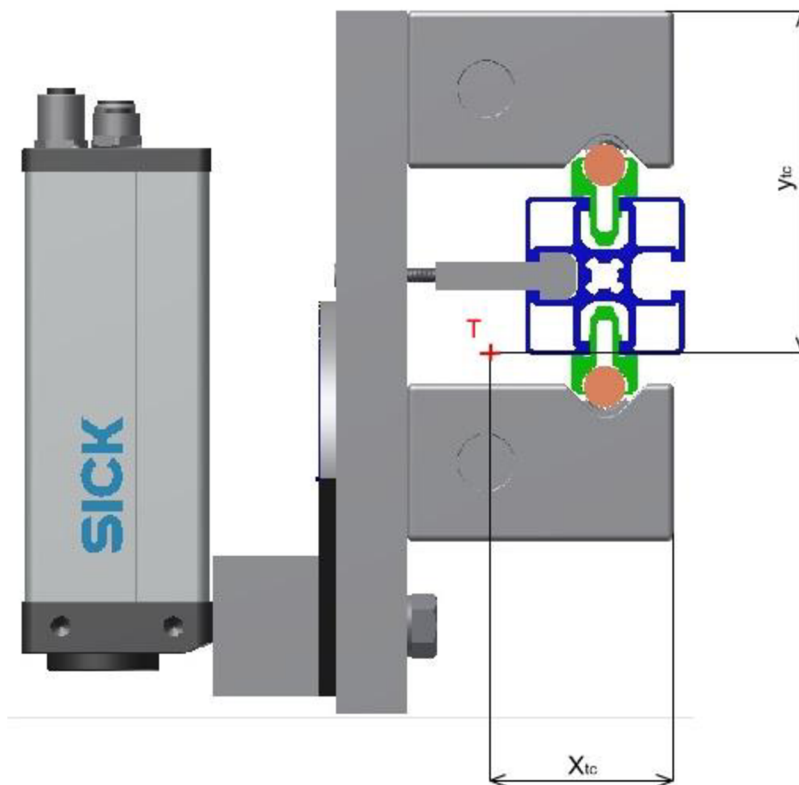


Obr. 27 Hliníkový profil s vedením



Klopný moment působící na vedení:
- poloha těžiště (obr. 28)

	poloha těžiště v ose x [mm]	poloha těžiště v ose y [mm]	hmotnost [kg]	tíhová síla [N]
horní vozík	$x_{t1} = 18,2$	$y_{t1} = 22,5$	$m_1 = 1,25$	$F_{g1} = 12,258$
spodní vozík	$x_{t2} = 18,2$	$y_{t2} = 128,5$	$m_2 = 1,25$	$F_{g2} = 12,258$
deska	$x_{t3} = 64,8$	$y_{t3} = 100$	$m_3 = 1,85$	$F_{g3} = 18,142$
kostka	$x_{t4} = 89,8$	$y_{t4} = 175$	$m_4 = 0,53$	$F_{g4} = 5,198$
kamera	$x_{t5} = 132,5$	$y_{t5} = 119,5$	$m_5 = 0,505$	$F_{g5} = 4,952$



Obr. 28 Poloha těžiště

Celková tíhová síla:

$$F_{gc} = F_{g1} + F_{g2} + F_{g3} + F_{g4} + F_{g5} = 52,808 \text{ N} \quad (7.1)$$

Poloha těžiště v ose x:

$$x_{tc} = \frac{F_{g1} \cdot x_{t1} + F_{g2} \cdot x_{t2} + F_{g3} \cdot x_{t3} + F_{g4} \cdot x_{t4} + F_{g5} \cdot x_{t5}}{F_{gc}} \quad (7.2)$$
$$= 51,9 \text{ mm}$$



Poloha těžiště v ose y :

$$y_{tc} = \frac{F_{g1} \cdot y_{t1} + F_{g2} \cdot y_{t2} + F_{g3} \cdot y_{t3} + F_{g4} \cdot y_{t4} + F_{g5} \cdot y_{t5}}{F_{gc}} \quad (7.3)$$
$$= 97,8 \text{ mm}$$

Poloha těžiště T_k [51,9; 97, 8]

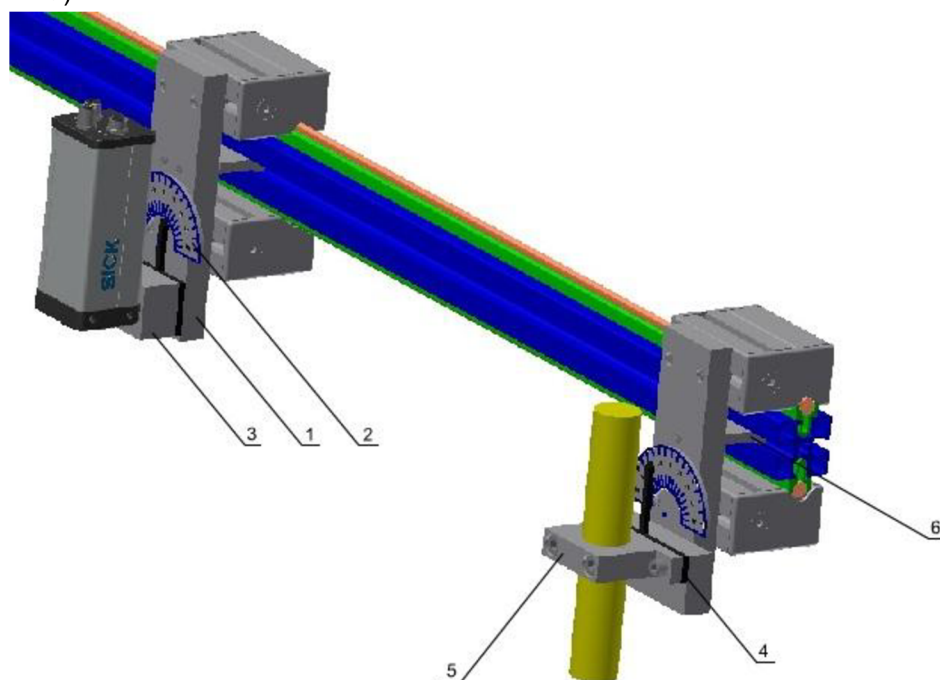
Výpočet momentu:

$$M_{ka} = x_{tc} \cdot F_{gc} = 2,75 \text{ Nm} \quad (7.4)$$

Na vedení působí od kamery klopný moment o velikosti $M_{ka} = 2,75 \text{ Nm}$. Jelikož je laser lehčí než kamera, bude jeho klopný moment menší a není potřeba jej počítat. Vypočítaný moment nebylo možné porovnat s maximálním možným momentem působící na vedení, jelikož se jej nepodařilo zjistit od výrobce.

7.3.3.3 Uchycení kamery a laseru

Vozíky jsou na vedení umístěny proti sobě a spojeny deskou. Deska se do drážky profilu vozíku přišroubuje zápusnými šrouby M5. Uchycení kamery k desce je přes kostku o rozměrech 60x40x30 mm ve které jsou díry pro zápusné šrouby M5. Ty se našroubují do závitů M5 v kameře. Kostka je společně s ryskou z plexiskla uchycena k desce přes šroub M10, který zároveň slouží pro povolení k natočení kamery. Odměření natočení je realizováno pomocí nalepovací stupnice, která se nalepí na desku a rysku z plexiskla. Laser je uchycen dělenou přírubou tvaru T, která je přišroubována ke kostce. Ta je opět společně s ryskou uchycena k desce přes šroub M10. (obr. 29)



Obr. 29 Uchycení kamery a laseru

1 – deska, 2 – stupnice, 3 – kostka, 4 – ryska, 5 – příruba, 6 – univerzální profil



Zajištění polohy vozíků s kamerou nebo laserem je provedeno universálním profilem z nabídky firmy Alutec K&K a šroubem M4. Do desky a univerzálního profilu je vyvrtána díra se závitem M4. Profil se s deskou sešroubuje. Povolněním šroubu se nastaví potřebná vzdálenost, dotáhnutím se poloha zajistí.

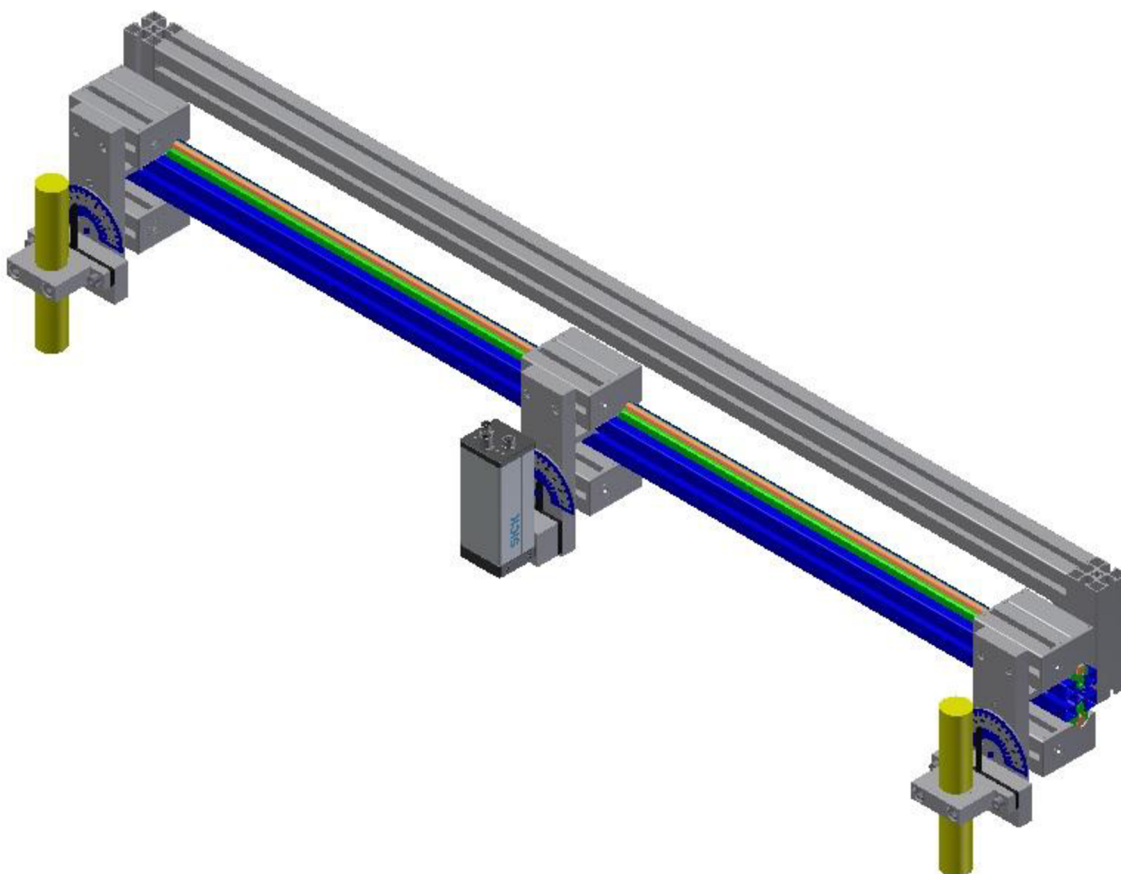
7.3.3.4 Odměření posuvu a natočení

Úhel natočení se určí podle nalepovací úhlové stupnice, která je nalepená na desce spojující vozíky a rysky, která se natáčí společně s laserem nebo kamerou po povolení šroubu M10.

Při nastavování polohy mezi kamerou a lasery nemusí být dodržena velká přesnost. Nepřesnost 10 cm v nastavení požadované vzdálenosti má vliv na šířku snímané plochy ve velikosti 1 cm. Použije se tedy nalepovací lineární stupnice s dělením po jednom centimetru. Stupnice se nalepí na hliníkový profil lineárního vedení.

7.3.3.5 Rám snímací hlavy

Rám se skládá z hliníkových profilů a pro snížení celkové váhy jsou použity ekonomické profily. Lineární vedení je připevněno fixačními trojúhelníky ke dvěma svislým profilům. Ty jsou spojeny dalším profilem, jenž bude sloužit i k uchycení k lineární ose. (obr. 30)



Obr. 30 Sestava snímací hlavy



7.3.3.6 Orientační ekonomické zhodnocení

Hliníkový profil 45x45 Ekonomický	2,99 m	~ 852 Kč
Profil pro vodící lištu	2,8 m	~ 616 Kč
Vodící lišta	2,8 m	~ 1226 Kč
3x základní vozík délka 180 mm		~ 10500 Kč
4x fixační trojúhelník 18x40		~ 480 Kč
2x příruba SHTDT		~ 1100 Kč
Šrouby, matice, 3x deska		~ 1200 Kč

cca 15974 Kč

7.3.3.7 Hmotnost snímací hlavy [17]

Hliníkový profil 45x45 Ekonomický	2,99 m	→ 4,54 kg
Profil pro vodící lištu	2,8 m	→ 1,02 kg
Vodící lišta	2,8 m	→ 2,5 kg
Pár vozíků 3x	3x 2,5 kg	→ 7,5 kg
Deska 3x	3x 1,8 kg	→ 5,4 kg
Kostka kamery		→ 0,5 kg
Kamera		→ 0,505 kg
Kostka laseru	2x 0,75 kg	→ 1,5 kg
Ryska	3x 0,015 kg	→ 0,045 kg
Příruba laseru	2x 0,5 kg	→ 1 kg
Laser	2x 0,065 kg	→ 0,13 kg
Fixační trojúhelník 18x40	8x 0,024 kg	→ 0,192 kg
Fixační trojúhelník 43x43	4x 0,06 kg	→ 0,24 kg
Šrouby, matky		→ 2 kg
Celková váha		27,4 kg ~ 28 kg

7.3.4 Zhodnocení variant

Z uvedených třech variant byla vybrána poslední 3. varianta. Výhody oproti ostatním variantám:

- ze všech má nejmenší hmotnost (nosné desky u první a druhé varianty, vyrobené z ocele, by byly velmi těžké a zároveň drahé)
- zajištění posuvu mezi lasery a kamerou je dostatečně přesné a méně nákladné
- z větší části je tvořena hliníkovým konstrukčním systémem, což zajišťuje do budoucna možnou změnu velikosti posuvu nebo použití dalšího vybavení (např. osvětlovače)
- ze všech variant je nejméně nákladná

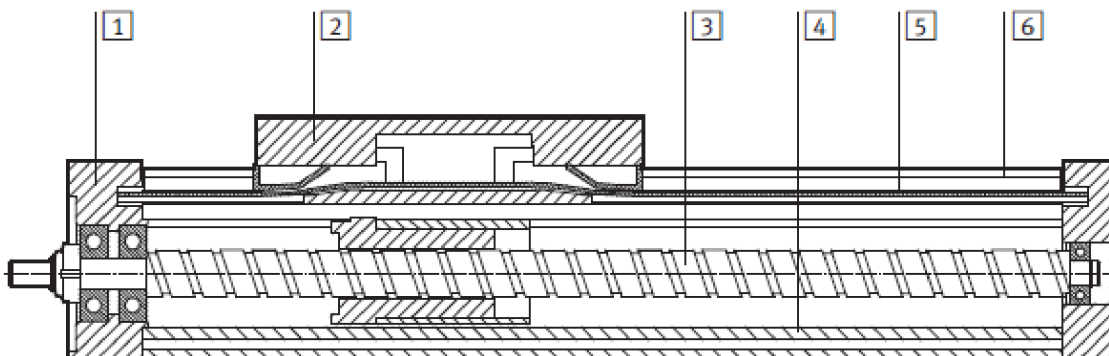


7.4 Lineární jednotka

7.4.1 Typy lineárních jednotek

Lineární jednotky se používají pro automatické polohování, dopravu a vedení. K polohování se používají ozubené řemeny, kuličkové šrouby nebo lineární motory. Tyto komponenty jsou uzavřeny v robustním hliníkovém profilu, který umožňuje jednotkám vysokou nosnost a tuhost při zachování dobré dynamiky. Hliníkový profil je opatřen T-drážkou. Díky tomu jej lze často snadno začlenit do konstrukce. Výhodou lineárních jednotek je přesné polohování (až $\pm 0,01$ mm), dlouhá životnost, jednoduchost, provoz téměř bez údržby a možnost stavby víceosých systémů. K pohonu elektrických lineárních jednotek se používají krokové motory nebo servomotory. [23]

Lineární jednotky se šroubem (obr. 31) jsou v provedení s kuličkovým nebo trapézovým šroubem. Pro přesnější nastavení polohy (přesnost až $\pm 0,03$ mm) a pro automatizovaný provoz se používá kuličkový šroub. Trapézový šroub se využívá spíše pro ruční nastavení polohy, a kde není potřeba velká přesnost nastavení polohy (přesnost $\pm 0,1$ mm). Jednotky využívající k posuvu šrouby se používají spíše pro malé zdvihy. [24]



Obr. 31 Pohon s vřetenem [25]

1 – víko, 2 – vozík, 3 – vřeteno, 4 – profil, 5 – krycí pás, 6 – vodící lišta

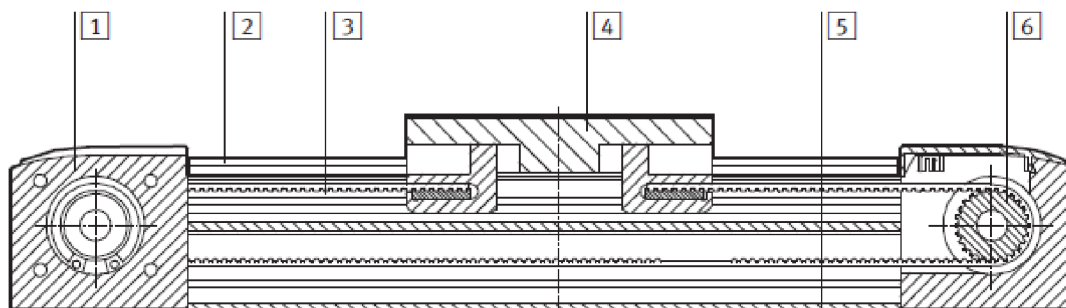
Představitel lineární jednotky s kuličkovým šroubem je např. lineární modul KK60 od firmy HIWIN (obr. 32). Délka dráhy se pohybuje od 150 – 600 mm a dosahovaná přesnost polohy je $\pm 0,003$ mm. K pohonu se používá krokový motor nebo servomotor a maximální dosahovaná rychlost činí 1100 mm/s. [26]



Obr. 32 Lineární modul KK60 [26]



Lineární jednotky s ozubeným řemenem (obr. 33) jsou velmi kompaktní a mají široké možnosti uplatnění. Vedení se může skládat z rolničkového vedení, které se nemusí mazat nebo z lineárního vedení s oběhovými kuličkami.



Obr. 33 Pohon s ozubeným řemenem [27]

1 – kryt pohonu, 2 – vodící lišta, 3 – ozubený řemen, 4 – vozík, 5 – profil, 6 – disk ozubeného řemene

Firma PBC LINEAR nabízí mnoho verzí lineárních jednotek s ozubeným řemenem. Podle potřebné zátěže, zdvihu a rychlosti se liší velikostí profilu. Nízkou hodnotu tření, hluku a vibrací zajišťuje profilové vedení s oběžnými bloky.

Lineární osa řady MTB055 (obr. 34) je vyrobena z anodizovaného hliníkového profilu o rozměrech 55 mm x 55 mm, který je odolný proti korozi. To umožňuje jeho použití i v náročném prostředí (zdravotnictví, automobilový průmysl, ...). K lineárnímu pohonu je využit ocelí vyztužený ozubený řemen, který zajišťuje vysokou rychlost, účinnost a akceleraci při zachování přesného polohování. Maximální zdvih může dosahovat až 6 metrů a rychlosti až 3 m/s. Váha přepravovaného nákladu může dosahovat až 1850 N a max. moment 120 Nm. Opakovatelnost polohování činí $\pm 0,05$ mm. [28]



Obr. 34 Lineární osa MTB055 [28]



DIPLOMOVÁ PRÁCE

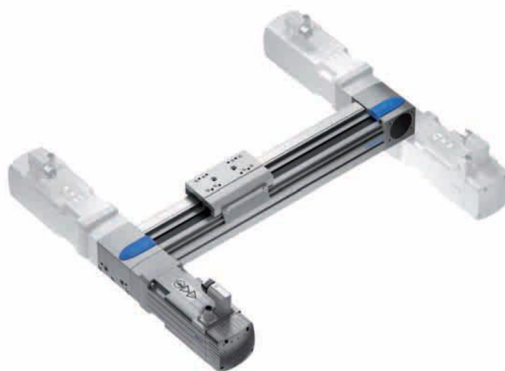
Zajímavou možností je i řada MTD042 (obr. 35), která má nízko-profilovou konstrukci (42 mm x 75 mm) a je také vyrobena z anodizovaného hliníkového profilu. Lineární osa je vybaven dvěma vozíky pro přepravu nákladu (nosnost až 1275 N) a lineární pohyb je vyvozován opět pomocí ozubeného řemene. Lze dosáhnout zdvihu až 3 m a maximální rychlosti 3 m/s. [29]



Obr. 35 Lineární osa MTD042 [29]

Firma FESTO, která má zastoupení i v české republice, se také zabývá výrobou a vývojem lineárních jednotek (elektrických přímočarých pohonů). Ve své nabídce má varianty s pohonem s ozubeným řemenem nebo vřetenem. Charakteristickými znaky těchto jednotek jsou hliníkové profily s vnějším vedením, které navyšují tuhost jednotky. Další určující vlastností je umístění vedení blíže k zátěži. To má za následek menší rameno páky a možnost použití většího zatížení a krouticích momentů.

Osy s ozubeným řemenem EGC-TB-KF mohou dosahovat pracovního zdvihu až 8500 mm, rychlosti 5 m/s a opakovatelné přesnosti $\pm 0,08$ mm. Konstrukce umožňuje, že motor může být umístěn na kterékoliv ze čtyř stran a polohu lze kdykoliv změnit (obr. 36). Lineární jednotky s vřetenem dosahují maximálního zdvihu 3000 mm, rychlosti 2 m/s a opakovatelné přesnosti $\pm 0,02$ mm. [25],[27]



Obr. 36 Uložení motoru [27]

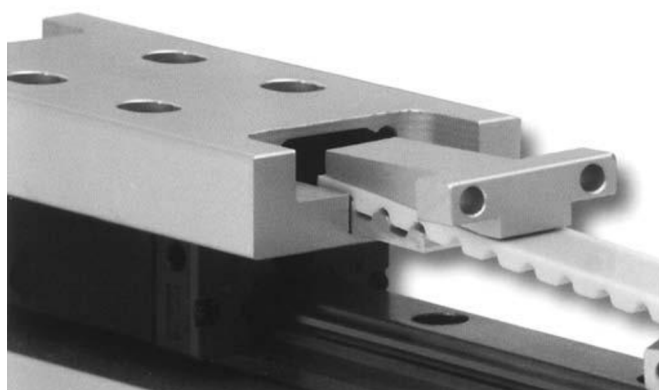


Další firmou působící na českém trhu je firma T.E.A. TECHNIK s.r.o. Firma se zabývá lineárním vedením a pohony. Ve své nabídce má i lineární osy s ozubeným řemenem NewGen (New Generation) (obr. 37). Díky oboustranné hnací přírubě dovoluje i tato varianta umístit motor na kteroukoliv stranu. Využít se dají také standardní nebo prodloužené vozíky. [30]



Obr. 37 Lineární osa s ozubeným řemenem NewGen [30]

Vyrábí se v možnostech s rolničkovým vedením, které se hodí do nečistého prostředí nebo do prostředí, kde by mohlo dojít ke kontaminaci (výroba papíru, balící linky). Dále se vyrábí v nerez provedení, které je vhodné zvláště do potravinářského průmyslu a poslední řadou jsou jednotky, které používají lineární vedení s oběhovými kuličkami. Profil je tvořen z eloxovaného hliníku o rozměru 30 x 60 mm a po stranách je kvůli uchycení opatřen T drážky. Zajištění a napínání řemene je tvořeno dvěma klíny, které se vsunou společně s řemenem do vozíku a zajistí šrouby. (obr. 38)



Obr. 38 Uchycení a napínání řemene [30]

Používaný ozubený řemen je vyroben z polyuretanu s ocelovým vláknem a je široký 16 mm. Maximální použitelná síla může činit 2190 N. Řemen se pohybuje v přírubách po 18-ti zubových kladkách s vrtáním 12 mm nebo 14 mm. [30]



7.4.2 Volba lineární jednotky

S ohledem na potřebu diplomové práce byla zvolena lineární osa s ozubeným řemenem. Použití kuličkového šroubu zajišťuje větší přesnost, ale v dané aplikaci kdy bude osa pouze přejíždět nad snímanými součástmi s kamerou a lasery z jedné krajní polohy do druhé, není potřeba velké přesnosti. Lineární osy s ozubeným řemenem jsou také cenově výhodnější.

Při volbě výrobce lineárních os byl zvolen některý z českých výrobců a to na základě výpočtu klopných momentů, které budou na vozík působit. Výpočet klopných momentů se bude určovat na základě váhy a rozměrech snímací hlavy.

- za prvé je třeba určit polohu těžiště snímací hlavy (obr. 39)

	poloha těžiště v ose x [mm]	poloha těžiště v ose y [mm]	hmotnost [kg]	tíhová síla [N]
AL profil	$x_{t1} = 22,5$	$y_{t1} = 110$	$m_1 = 0,02128$	$F_{g1} = 2,087$
horní vozík	$x_{t2} = 85,7$	$y_{t2} = 104,5$	$m_2 = 1,25$	$F_{g2} = 12,258$
profil s vedením	$x_{t3} = 70,2$	$y_{t3} = 157,5$	$m_3 = 0,4076$	$F_{g3} = 3,997$
spodní vozík	$x_{t4} = 85,7$	$y_{t4} = 210,5$	$m_4 = 1,25$	$F_{g4} = 12,258$
deska	$x_{t5} = 132,3$	$y_{t5} = 182$	$m_5 = 1,85$	$F_{g5} = 18,142$
kostka	$x_{t6} = 157,3$	$y_{t6} = 257$	$m_6 = 0,53$	$F_{g6} = 5,198$
kamera	$x_{t7} = 200$	$y_{t7} = 201,5$	$m_7 = 0,505$	$F_{g7} = 4,952$

Tab. 1 Poloha těžiště jednotlivých komponent

Celková tíhová síla:

$$F_{gc} = F_{g1} + F_{g2} + F_{g3} + F_{g4} + F_{g5} + F_{g6} + F_{g7} = 58,893 \text{ N} \quad (7.5)$$

Poloha těžiště v ose x:

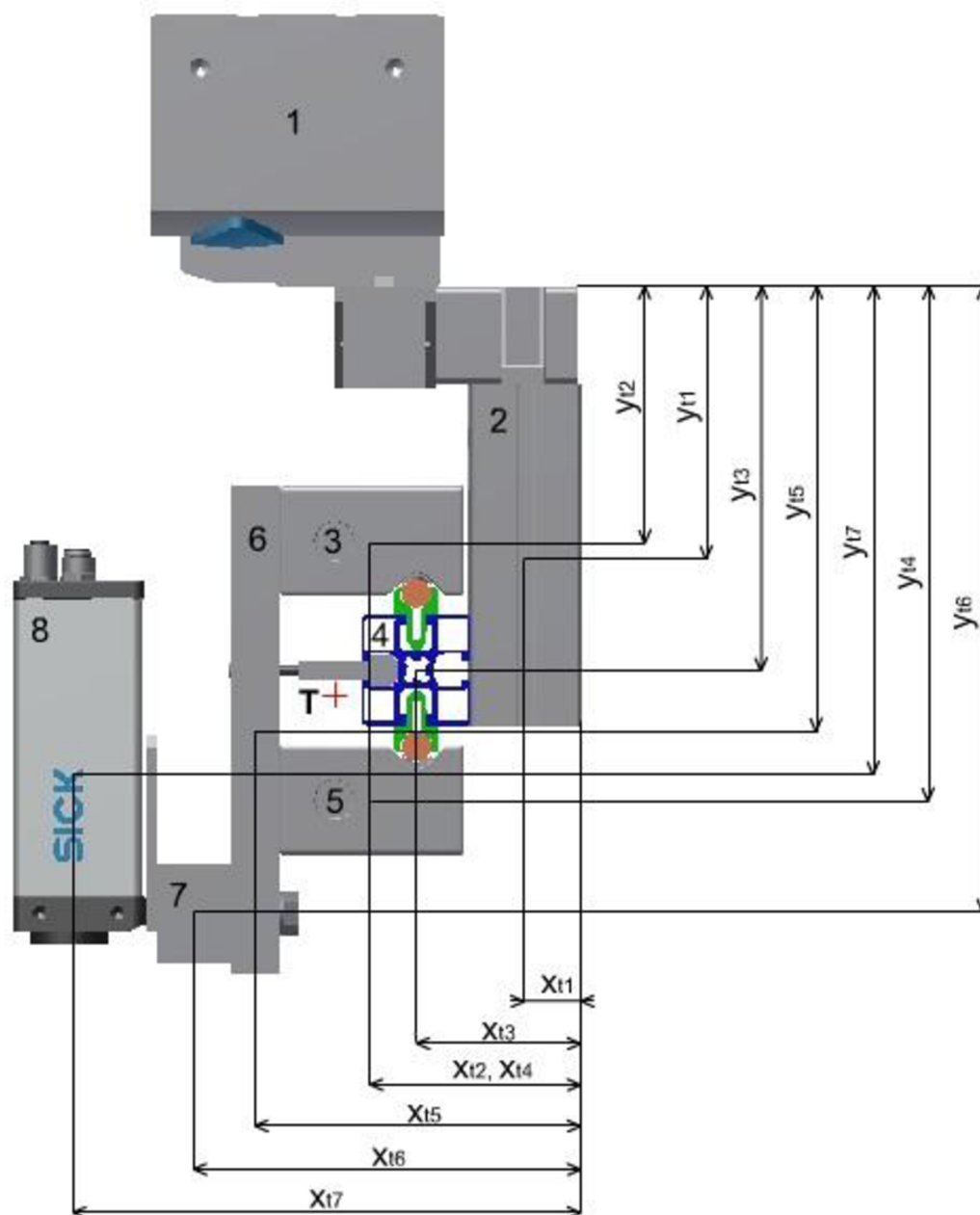
$$x_{tc} = \frac{F_{g1} \cdot x_{t1} + F_{g2} \cdot x_{t2} + F_{g3} \cdot x_{t3} + F_{g4} \cdot x_{t4} + F_{g5} \cdot x_{t5} + F_{g6} \cdot x_{t6} + F_{g7} \cdot x_{t7}}{F_{gc}} \quad (7.6)$$
$$= 112,694 \text{ mm}$$

Poloha těžiště v ose y:

$$y_{tc} = \frac{F_{g1} \cdot y_{t1} + F_{g2} \cdot y_{t2} + F_{g3} \cdot y_{t3} + F_{g4} \cdot y_{t4} + F_{g5} \cdot y_{t5} + F_{g6} \cdot y_{t6} + F_{g7} \cdot y_{t7}}{F_{gc}} \quad (7.7)$$

$$= 175,845 \text{ mm}$$

Poloha těžiště T_S [112,694; 175,845]

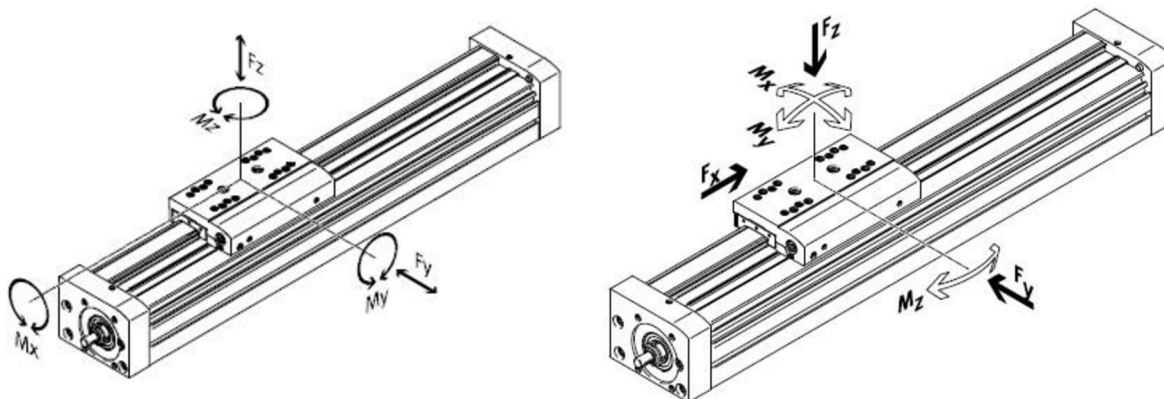


Obr. 39 Určení těžiště

1 – lineární osa s vozíkem, 2 – hliníkový profil, 3 – horní vozík, 4 – hliníkový profil s vedením, 5 – spodní vozík, 6 – deska, 7 – kostka, 8 - kamera



- poté se vypočítají hodnoty momentů a porovnájí s momenty udávanými výrobcí lineárních os



Obr. 40 Působení sil a momentů na vozík [27]

Váha snímací hlavy:

$$m_h = 28 \text{ kg}$$

Výpočet působících sil:

$$F_z = m_h \cdot g = 274,586 \text{ N} \quad (7.8)$$

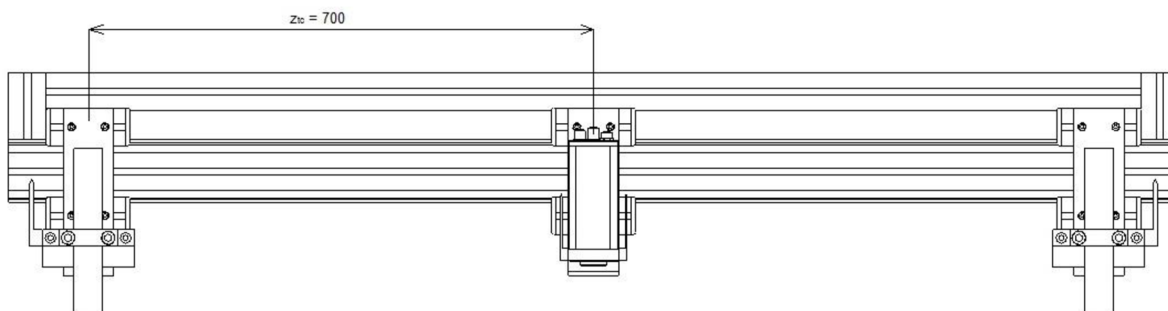
$$F_x = m_h \cdot a = 28 \cdot 3,4 = 95,2 \text{ N}$$

Výpočet momentů:

$$M_x = F_z \cdot x_{tc} = 274,586 \cdot 0,1127 = 30,944 \text{ Nm} \quad (7.9)$$

$$M_y = F_z \cdot z_{tc} = 274,586 \cdot 0,7 = 164,752 \text{ Nm} \quad (7.10)$$

$$M_y = F_x \cdot y_{tc} = 95,2 \cdot 0,1758 = 16,74 \text{ Nm} \quad (7.11)$$



Obr. 41 Největší vzdálenost laseru od kamery



Pokud vezmeme v potaz lineární osu od firmy FESTO, musí být splněna následující podmínka:

$$F_{\text{ver}} = \frac{F_y}{F_{y\text{max}}} + \frac{F_z}{F_{z\text{max}}} + \frac{M_x}{M_{x\text{max}}} + \frac{M_y}{M_{y\text{max}}} + \frac{M_z}{M_{z\text{max}}} \leq 1 \quad (7.12)$$

Permissible forces and torques						
Size		50	70	80	120	185
$F_{y\text{max}}$	[N]	650	1,850	3,050	6,890	15,200
$F_{z\text{max}}$	[N]	650	1,850	3,050	6,890	15,200
$M_{x\text{max}}$	[Nm]	3.5	16	36	144	529
$M_{y\text{max}}$	GK/GP [Nm]	10	51	97	380	1,157
$M_{z\text{max}}$	GK/GP [Nm]	10	51	97	380	1,157
$M_{y\text{max}}$	GV/GQ [Nm]	-	132	228	680	1,820
$M_{z\text{max}}$	GV/GQ [Nm]	-	132	228	680	1,820

Tab. 2 Hodnoty přípustných momentů a sil

Pro lineární jednotku velikosti 120 a pro hodnoty momentů u vozíku GV/GQ, tedy platí:

$$F_{\text{ver}} = \frac{F_z}{F_{z\text{max}}} + \frac{M_x}{M_{x\text{max}}} + \frac{M_y}{M_{y\text{max}}} = \frac{274,586}{6890} + \frac{30,944}{144} + \frac{164,752}{680} = 0,49$$

$$F_{\text{ver}} \leq 1$$

Na základě výpočtu tedy volím lineární osu od firmy Festo s ozubeným řemenem a prodlouženým vozíkem GV. Prodloužený vozík GV byl volen z důvodu možnosti působení větších momentů a z důvodu snazší možnosti konstrukce uchycení snímací hlavy k vozíku lineární osy.

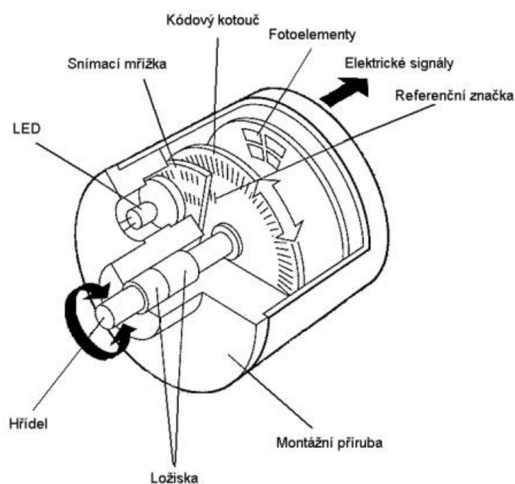
Snímací hlava je k vozíku lineární osy připevněna za pomoci dvou hliníkových profilů modulu 45 a délky 100 mm. Profily jsou s vozíkem spojeny čtyřmi fixačními trojúhelníky 43x43 mm a k rámu snímací hlavy čtyřmi fixačními trojúhelníky 18x40 mm.



7.5 Odměrování polohy

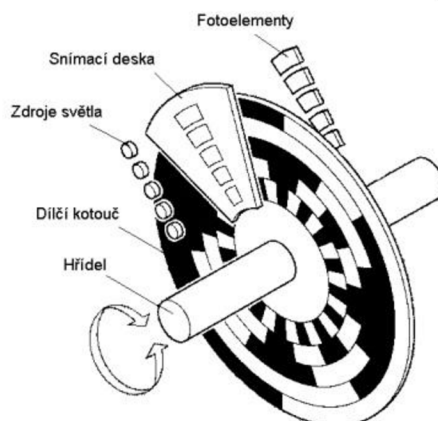
7.5.1 Princip rotačních snímačů

Pro odměrování polohy vozíku lineární osy je použit inkrementální snímač polohy (obr. 42), který převádí rotační pohyb na elektrický signál. Základem inkrementálních snímačů je pulzní disk. Disk má po obvodě světlá a tmavá pole, která se pravidelně střídají, a je pevně spojen s hřídelí snímače. LED dioda generuje světelný tok, který prochází diskem na fotocitlivé prvky. Otáčením hřídele disk střídavě propouští světelné pulzy. Rychlost otáčení se zjistí podle počtu impulzů za otáčku. Abychom zjistili směr otáčení, použije se disk se dvěma řadami polí, které jsou vůči sobě posunuty o 90°. Disk obsahuje ještě jedno pole, které generuje pulz jednou za otáčku. Toto pole slouží pro zjištění úhlu natočení a nazývá se nulovým pulzem. U inkrementálních snímačů polohy se musí po zapnutí nastavit nulová poloha. [31]



Obr. 42 Inkrementální rotační snímač [31]

Absolutní snímače polohy pracují na stejném principu jako inkrementální snímače, ale umožňují po zapnutí určit úhel natočení. To je umožněno rozdílným uspořádáním světlých a tmavých míst na pulzním disku. Ten je rozdělen pomocí Grayova kódu. (obr. 43)



Obr. 43 Grayův kód [31]



7.5.2 Výběr snímače

Mezi významné výrobce snímačů polohy patří firma Renishaw. Jejich snímače používají kroužky z nerezové oceli, na které je velmi přesná stupnice. Ta je vybavena montážním kuželem, pomocí kterého lze korigovat excentricitu hřídele a zvýšit přesnost.

Firma SICK se mimo jiné také zabývá vývojem a výrobou snímačů polohy. Podmínkou pro výběr snímače byla rozlišitelnost alespoň 10 000 pulzů za otáčku. Firma SICK tuto podmínku splňuje a proto se společně s kamerou a lasery pořídí u této firmy i rotační inkrementální snímač polohy. Konkrétně se jedná o snímač DFS60 (obr. 44). Základní údaje jsou uvedeny v tabulce.

Průměr hřídele:	12 mm
Moment setrvačnosti rotoru:	40 gcm ²
Mechanické rozhraní:	Průchozí dutá hřídel
Počet pulzů na otáčku:	10 000
Odchylka měřicího kroku:	±0,01°
Dovolené chyby:	±0,05°
Šířka nulového pulzu:	Volně programovatelné
Hmotnost:	0,2 kg

Tab. 3 Hodnoty snímače DFS60 [19]



Obr. 44 Inkrementální snímač DFS60 [19]

7.5.3 Přesnost snímače

Servomotory v sobě obsahují snímače odměřování. Ty ale nejsou natolik přesné, jako když se použije externí inkrementální snímač. Přesnost snímače se určuje na základě počtu pulzů za otáčku a celkové dráhy.

- počet pulzů na otáčku $p = 10\,000$
- posuvová konstanta řemene $k_p = 125\text{ mm/ot}$



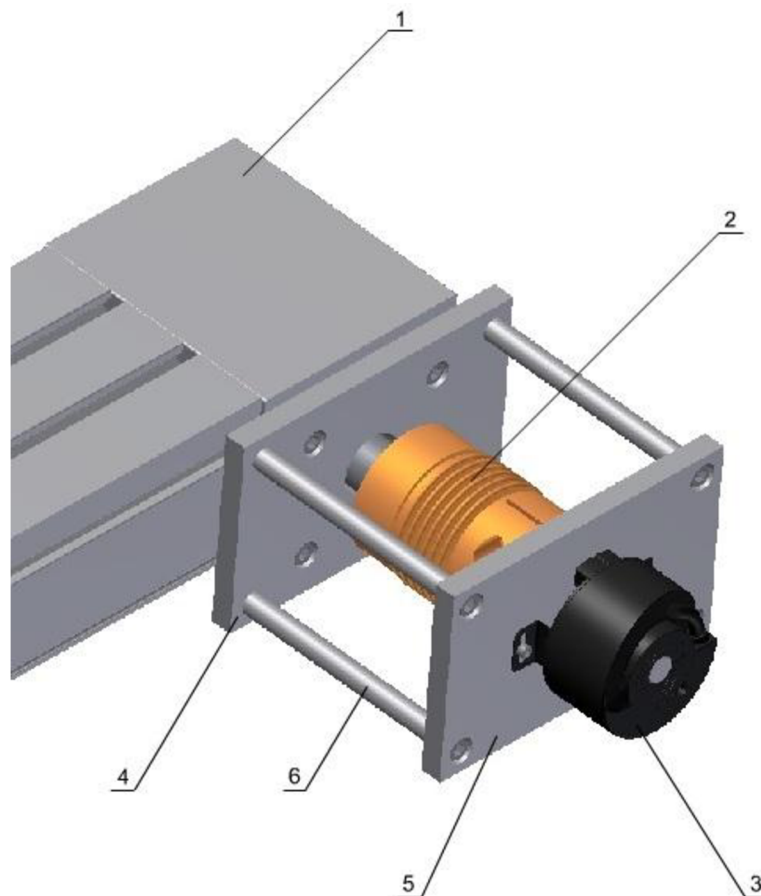
- přesnost odměřování na jednu otáčku

$$\frac{k_p}{p} = \frac{125}{10\,000} = 0,0125 \text{ mm} \quad (7.13)$$

Přesnost odměřování polohy pomocí inkrementálního snímače DFS60 na jednu otáčku hřídele lineární osy je 0,0125 mm.

7.5.4 Montáž snímače

Snímač je s lineární osou spojen hřídelem přes vlnovcovou spojku. Vlnovcové spojky jsou bezvúlové, mají vysokou torzní tuhost a umožňují spojit nesouosé hřídele. Slouží také k tlumení vibrací. Díky těmto vlastnostem se provozní vlivy eliminují na minimum a přesnost odměřování snímače je ovlivněna v menší míře. Vlnovcová spojka je vybrána od firmy T.E.A. TECHNIK. Konkrétně se jedná o typ BK se svěrným nábojem a nerezovým vlnovcem. Charakteristickými znaky spojky jsou: nízký moment setrvačnosti, snadná montáž a malé zástavbové rozměry. Nominální moment spojky je 15 Nm. [32]



Obr. 45 Uchycení snímače a spojky

1 – lineární osa, 2 – vlnková spojka, 3 – inkrementální snímač, 4 – deska lineární osy, 5 – deska inkrementálního snímače, 6 – tyč se závitem

Ke krytu pohonu lineární osy (1) je zápustnými šrouby připevněna ocelová deska (4). Ta je spojena s nosnou deskou (5) snímače pomocí čtyř tyčí (6) a zápustnými šrouby M6. Snímač (3) je na nosné desce uchycen dvěma šrouby M3. (obr. 45)

7.6 Motor

K pohonu lineární osy se použije synchronní střídavý servomotor. Ty se využívají v aplikacích, kde je třeba řídit otáčky a polohy hřídele motoru. Přednostmi těchto motorů jsou vysoká dynamika a přesnost, velká přetížitelnost a malý moment setrvačnosti. Servomotory jsou vybaveny absolutním snímačem úhlu, který se nazývá revolver a tvoří zápornou zpětnou vazbu.

7.6.1 Volba motoru

Motor byl zvolen od firmy Beckhoff. Ta nabízí synchronní servomotory řady AM30xx. Pro tuto řadu motorů je typický nízký moment setrvačnosti. Robustní konstrukce, vysoká přetížitelnost a mechanická odolnost. Při volbě motoru k pohonu lineární osy s ozubeným řemenem se muselo kontrolovat dovolené radiální a axiální zatížení na pastorek dle rovnice. [33]

$$d_{\min} \geq \frac{M_o}{F_R} \cdot 2 \quad (7.14)$$

Na základě výpočtu byl zvolen motor AM3041-wEyz-0000. Hodnoty motoru jsou uvedeny v tabulce.

Moment motoru	$M_o = 2,02 \text{ Nm}$
Proud	$I_m = 2,85 \text{ A}$
Otáčky při 230 V AC	$n_m = 3000 \text{ min}^{-1}$
Moment setrvačnosti motoru	$J_m = 0,810 \text{ kgcm}^2$
Hmotnost motoru	$m_m = 2,44 \text{ kg}$
Ø pastorku	$d = 19 \text{ mm}$
Dovolené radiální zatížení pastorku	$F_R = 450 \text{ N}$
Moment statického tření	$M_R = 0,014 \text{ Nm}$

Tab. 4 Hodnoty motoru

Minimální průměr pastorku je tedy:

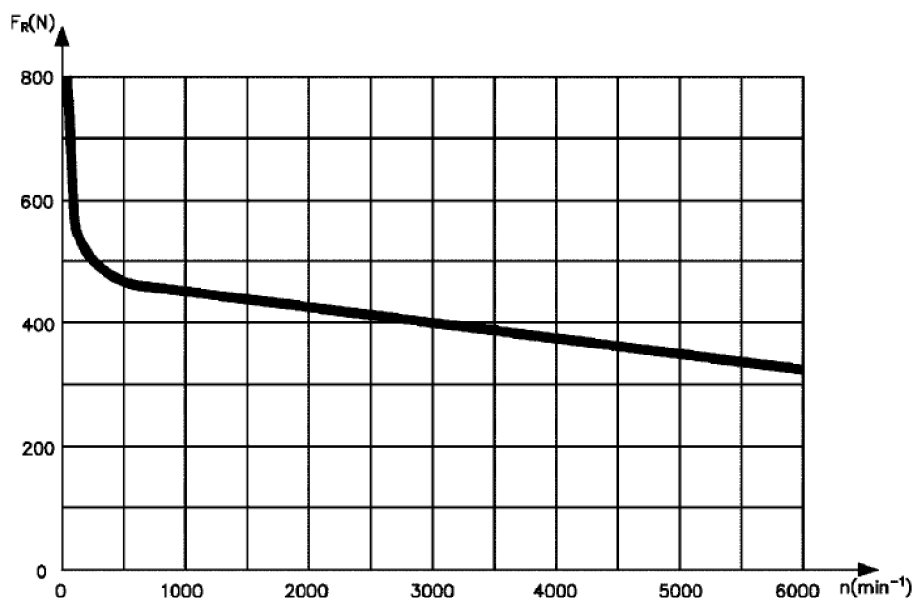
$$d_{\min} \geq \frac{M_o}{F_R} \cdot 2$$

$$d_{\min} \geq \frac{2,02}{450} \cdot 2$$

$$d_{\min} \geq 9 \text{ mm}$$



Průměr pastorku tedy nesmí být menší než 9 mm. Zvolený motor má průměr pastorku 19 mm => motor na radiální zatížení vyhovuje. Graf 1 ukazuje, jak se radiální zatížení mění v závislosti na otáčkách.



Graf 1 Změna radiální síly [33]

7.6.2 Frekvenční měnič

Pro řízení a regulaci otáček synchronního servomotoru se používá frekvenční měnič. Frekvenční měnič AX5206 (obr. 44) byl stejně jako motor volen od firmy Beckhoff. Tyto měniče jsou vhodné pro polohovací úlohy, kde je zapotřebí rychlost a dobrá dynamika. Měniče umožňují řízení dvou motorů. K měniči mohou být připojeny motory různého typu (synchronní, lineární, asynchronní), aniž by bylo potřeba speciálního opatření. [34]



Obr. 46 Frekvenční měnič AX5206 [34]

7.6.3 Spojení motoru s lineární osou

Výstupní hřídel motoru může být s hřídelem lineární osy spojen dvěma způsoby. Za prvé, použitím bezvúlové hřídelové spojky nebo za druhé, pomocí řemenového převodu.



7.6.3.1 Použití hřídelové spojky

Přenos kroutícího momentu od motoru na osu je realizováno za pomoci tuhé spojky. Tuhé spojky zajišťují bezvůlový přenos rotačního pohybu, nízkou setrvačnost, vysokou torzní tuhost a spolehlivost. Vybrána byla hřídelová bezvůlová spojka TRASCO® ES GESF (s drážkou pro pero) od firmy Haberkorn typu 19/24. Tyto spojky se vyznačují schopností dobře absorbovat vibrace (až 80 %). Bezvůlový přenos je zajištěn polyuretanovým elastickým elementem. Maximální přípustný přenášený moment záleží na tvrdosti použitého elastického elementu. Čím jsou elementy tvrdší, tím hůř eliminují výchylky hřídelů. Předpokládá se, že v našem případě se bude pracovat s momentem do 5 Nm. Vybrán je tedy žlutý element 92 Sh A s nominálním momentem 10 Nm (maximálním 20 Nm). V tabulce jsou zapsány hodnoty spojky. [35]

Minimální průměr	$\varnothing d_{\min} = 6 \text{ mm}$
Maximální průměr	$\varnothing d_{\max} = 24 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti	$J_s = 20,4 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2$
Maximální otáčky	$n_{\max} = 14\,000 \text{ min}^{-1}$
Hmotnost	$m_s = 0,066 \text{ kg}$

Tab. 5 Hodnoty spojky [35]

Výpočet potřebného momentu motoru

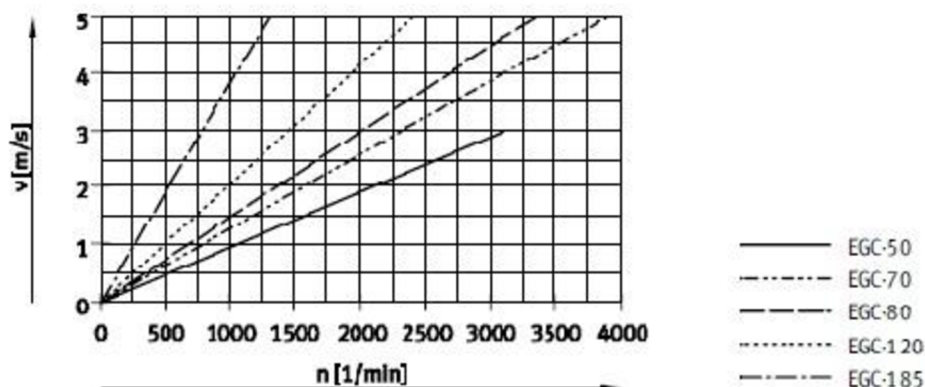
Hmotnost posuvné části: $m_h = 28 \text{ kg}$
 $F_z = m_h \cdot g = 274,586 \text{ N}$ (7.8)

Délka zdvihu: $l_z = 1,855 \text{ m}$

Účinnost řemene: $\eta = 0,98$

Zvolené otáčky: $n_m = 1500 \text{ min}^{-1} = 25 \text{ s}^{-1}$

Rychlost se zvolí z katalogu lineární osy na základě zvoleným otáček.

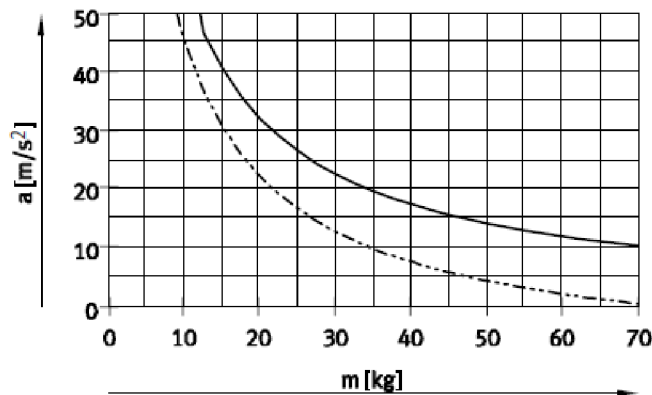


Graf 2 Určení rychlosti [27]

Pro lineární osu EGC-120 a zvolených otáček 1500 min^{-1} je rychlost $v = 3 \text{ ms}^{-1}$



Maximální zrychlení v závislosti na hmotnosti posuvné části se určí dle grafu 3.



Graf 3 Určení zrychlení [27]

Při hmotnosti posuvné části $m_h = 28 \text{ kg}$ může dosahovat zrychlení maximální hodnoty zhruba $a_{\max} = 23 \text{ ms}^{-2}$.

Určení momentů setrvačnosti

Moment setrvačnosti lineární osy:

Hmotnostný moment setrvačnosti			50	70	80	120	185
velikost'							
J_0	GK	[kg mm ²]	16,94	83,34	205,9	1 241	17 976
	GV	[kg mm ²]	-	110	265	1 465	19 690
J_H na meter zdvihu		[kg mm ² /m]	2,6	10,6	18,8	93	760
J_L na kg užitočnéj zátáže		[kg mm ² /Kg]	85	154	205	396	1 363,5
J_W	GK	[kg mm ²]	3,56	56,32	126,73	861	8 846
	GV	[kg mm ²]	-	82,52	185,22	1 080	10 523

Tab. 6 Hodnoty setrvačných momentů osy [27]

Celkový moment setrvačnosti se pro osu o velikosti 120 stanoví dle následujícího vztahu:

$$J_A = J_0 + J_W + J_H \cdot \text{délka zdvihu} + J_L \cdot \text{hmotnost posuvné části} \quad (7.15)$$

$$J_A = 1241 \text{ kgmm}^2 + 1080 \text{ kgmm}^2 + 93 \text{ kgmm}^2 \cdot 1,855 \text{ m} + 396 \text{ kgmm}^2 \cdot 28 \text{ kg}$$

$$J_A = 13805,5 \text{ kgmm}^2$$

Moment setrvačnosti motoru: $J_m = 81 \text{ kgmm}^2$

Moment setrvačnosti spojky: $J_s = 20,4 \text{ kgmm}^2$

Moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru:

$$J_{RHM} = J_A + J_m + J_s = 13805,5 + 81 + 20,4 \quad (7.16)$$

$$J_{RHM} = 13906,9 \text{ kgmm}^2$$



Celkový moment setrvačnosti soustavy se od momentu setrvačnosti lineární osy liší jen nepatrně. Z toho je patrné že motor a spojka mají pouze nepatrný vliv na celkový setrvačný moment soustavy.

Určení kinematiky:

Ozubený řemeň						
veľkosť		50	70	80	120	185
delenie	[mm]	2	3	3	5	8
predĺženie ¹⁾	[%]	0,094	0,08	0,24	0,13	0,29
účinný priemer	[mm]	18,46	24,83	28,65	39,79	73,85
posuvová konštanta	[mm/ot.]	58	78	90	125	232

Tab. 7 Hodnoty ozubeného řemene [27]

Posuvová konštanta řemene: $k_p = 125 \text{ mm/ot}$

Výpočet rychlosti: $v_{rp} = n_m \cdot k_p = 25 \text{ s}^{-1} \cdot 0,125 \text{ m} = 3,125 \text{ ms}^{-1}$ (7.17)

Výpočet doby rozběhu:

$$t_R = \frac{J_{RHM} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_m}{(M_m - M_R) \cdot \eta} = \frac{0,0139 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 25}{(2,04 - 0,014) \cdot 0,98} = 1,098 \text{ s} \quad (7.18)$$

Výpočet zrychlení:

$$a = \frac{v_{rp}}{t_R} = \frac{3,125}{1,098} = 2,84 \text{ ms}^{-2} \quad (7.19)$$

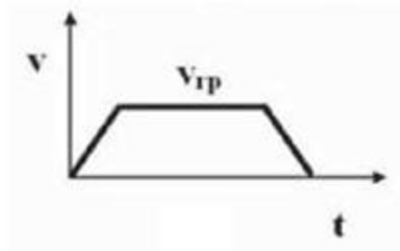
Určení pracovního cyklu:

- doba běhu: $t_s = 2 \text{ s}$

- celková dráha: $s_c = v_{rp} \cdot t_s + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_R^2$ (7.20)

$$s_c = 3,125 \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 2,84 \cdot 1,098 = 7,98 \text{ m}$$

$$s_c \geq \frac{v_{rp}^2}{a} \rightarrow 7,98 \geq 3,43 \rightarrow \quad (7.21)$$



- celkový čas:

$$T_c = \frac{s_c}{v_{rp}} + \frac{v_{rp}}{a} = \frac{7,98}{3,125} + \frac{3,125}{2,84} = 3,65 \text{ s} \quad (7.22)$$

- úhlové zrychlení motoru:

$$\varepsilon_m = \frac{2\pi \cdot a}{k_p} = \frac{2\pi \cdot 2,84}{0,125} = 142,75 \text{ s}^{-2} \quad (7.23)$$



- výpočet momentu motoru:

$$M_M = J_{RHM} \cdot \varepsilon_m = 0,0139 \cdot 142,75 = 1,98 \text{ Nm} \quad (7.24)$$

Potřebný moment motoru, který by rozpohyboval lineární osu s danou hmotností posuvové části, je $M_M = 1,98 \text{ Nm}$. Navrhnutý synchronní servomotor AM 3041wEyz-000 s momentem 2,02 Nm vyhovuje.

7.6.3.2 Řemenový převod

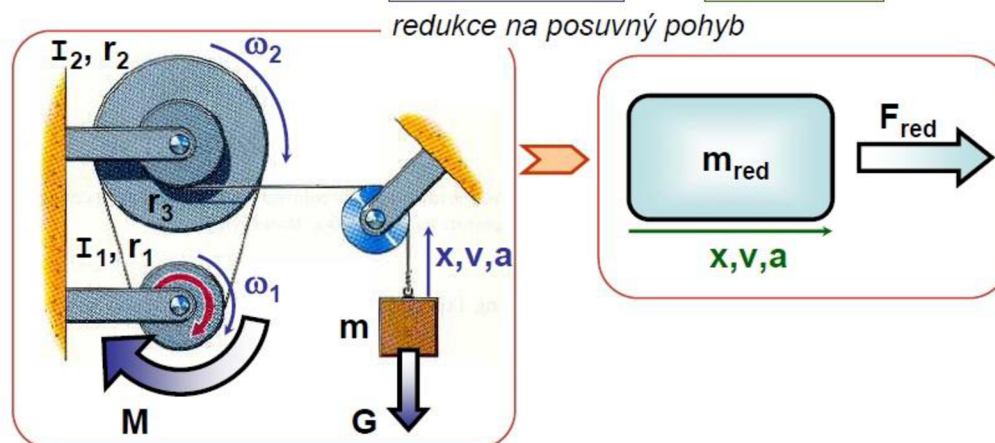
Druhým způsobem jak přenést kroutící moment z hřídele motoru na hřídel lineární osy je použití řemenového převodu. V tomto případě je zapotřebí využít synchronní ozubený řemen, který pracuje bez prokluzu a je schopný zajistit stálý počet otáček. Tyto řemeny jsou označovány jako SYNCHROFORCE CXP s profilem HDT. Synchronní řemeny dovolují přenášet vysoký výkon, jsou spolehlivé a potřebují jen minimální údržbu. [36]

Při použití řemenového převodu je potřeba zajistit napínání řemene. Řemen lze napínat pomocí kladky, která se vloží na jednu stranu řemene. Tento způsob se používá u aplikací s jedním směrem otáčení. V opačném případě by mohlo docházet k nesprávnému napínání řemene. Druhý způsob je přestavení motoru v drážkách nosné desky. Příruba motoru je maticemi přichycena k desce a napínání řemene spočívá v jejich povolení a přestavením motoru.

Důležitým parametrem pro správný chod a životnost řemenového převodu je, aby řemenice byly souosé a hřídele rovnoběžné. Řemenice je s hřídelem motoru spojena přes pero. S hřídelem lineární osy je řemenice spojena pomocí svěrného pouzdra. Při montáži se svěrné pouzdro nasune na hřídel a momentovým klíčem se jednotlivé šrouby utáhnou do kříže na utahovací moment daný výrobcem. Výhodou je krátká doba montáže a malé zástavbové rozměry. [37]

Převod od motoru na osu je do pomala. To z toho důvodu, aby servomotor pracoval ve vyšších otáčkách, ale lineární osa bude mít menší otáčky, čímž se sníží její rychlost a lze u kamery nastavit větší zpoždění pro snímání laserového profilu.

Výpočet potřebného momentu od motoru spočívá v metodě redukce. Principem této metody je náhrada původního mechanismu na úlohu jednoho tělesa konající pohyb posuvný nebo rotační. Podmínkou je, aby řešení náhradní úlohy bylo stejné s řešením původního mechanismu (obr. 47). [38]

**metoda redukce****skutečnost****náhrada**

Obr. 47 Princip metody redukce [38]

7.6.3.3 Zhodnocení metod

K přenosu krouticího momentu z motoru na lineární osu se použije bezvůlová spojka. Možnost se spojkou má menší zástavbové rozměry, odpadá napínání řemene a je konstrukčně jednodušší. Problém by mohl nastat ve velké rychlosti lineární osy při daných otáčkách 1500 min^{-1} , kdy by kamera získávala laserové profily s velkou nepřesností. Minimální expoziční doba, která lze na kameře nastavit je $64 \mu\text{s}$. V takovém případě se při rychlosti 1 ms^{-1} posune snímek objektu o $64 \mu\text{m}$. Počet vytvořených laserových profilů a přesnost rozlišení se určí následovně:

$$\frac{1,855}{64 \cdot 10^{-6}} = 28984,375 \quad (7.25)$$

- počet vzniklých laserových profilů na délce 1,855 m

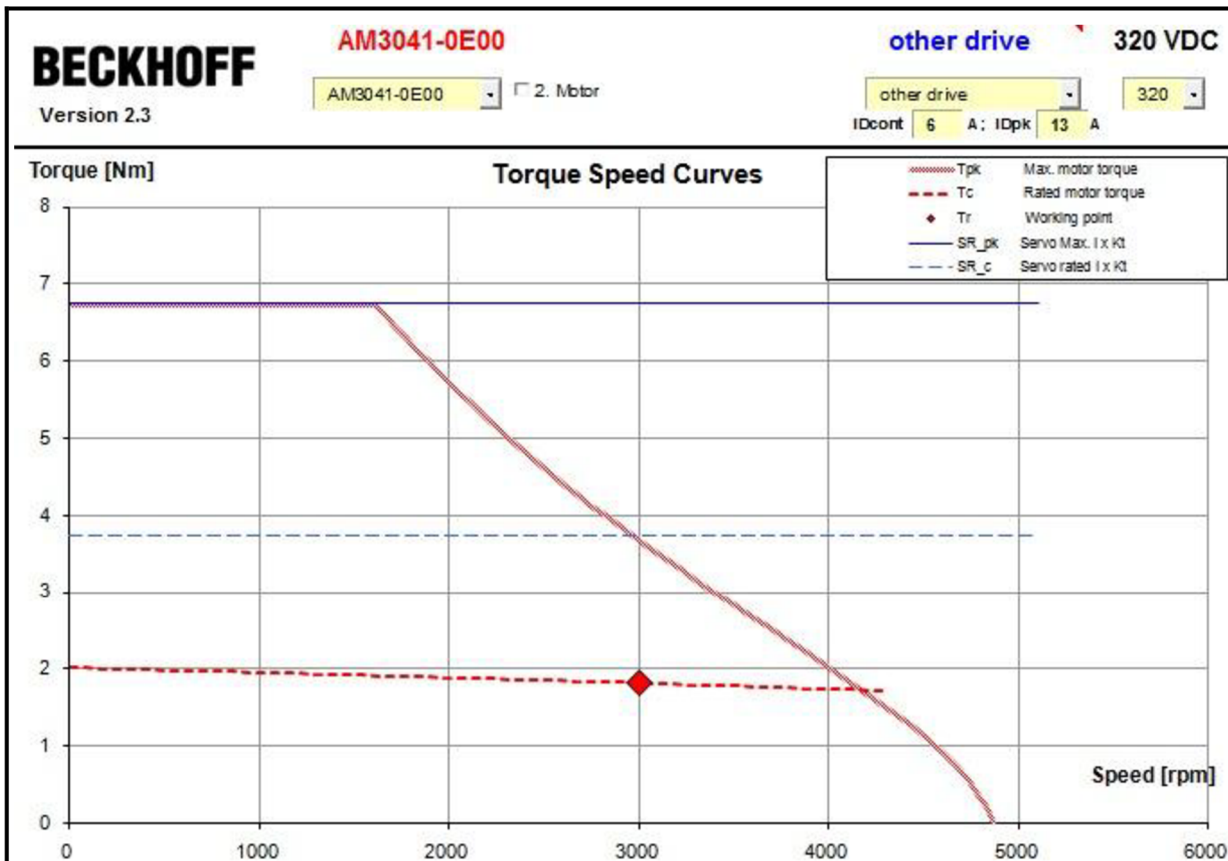
$$\frac{28984,375}{1,855} = 15625 \quad (7.26)$$

- přesnost rozlišení

$$\frac{1855}{15625} = 0,118 \text{ mm} \quad (7.27)$$

Při rychlosti 1 ms^{-1} a expoziční době $64 \mu\text{s}$, bude laserový profil objektu snímán každých $0,118 \text{ mm}$. Při rychlosti $3,125 \text{ ms}^{-1}$ bude laserový profil snímán každých $0,371 \text{ mm}$. Tato hodnota je pro snímání 3D obrazu vyhovující.

Frekvenčním měničem lze ale jednoduše regulovat motor (graf 4) i v nižších otáčkách a tím i rychlost lineární osy. To nám umožňuje porovnávat kvalitu výsledného obrazu při různém nastavení otáček motoru. Při použití řemenového převodu bychom toho nebyli schopni, neboť by byl pevně dán převodový poměr.



Graf 4 Momentová charakteristika motoru [34]

7.7 Ochrana kabelů

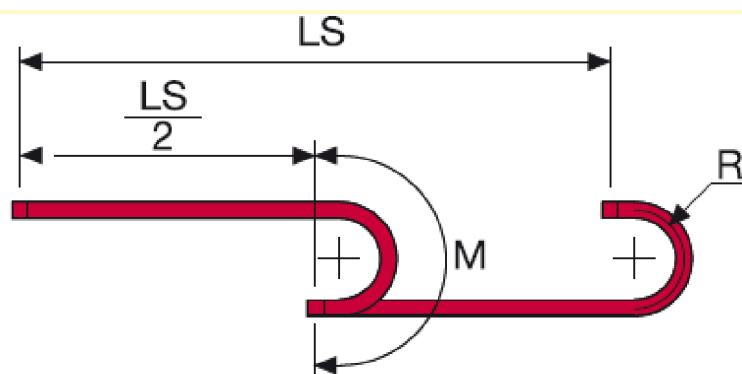
K ochraně a vedení kabelů od kamery a laserů se použijí energetické řetězy SILVYN[®] CHAIN od firmy Lapp Group. Řetězy jsou vhodné k ochraně proti mechanickému namáhání a pro aplikace s vysokou dynamikou. Vybrána byla střední řada SR400, která se hodí pro aplikace polohování (tab. 8). [39]

		Charakteristika										
		Vnitřní šířka		Vnitřní výška		Vnější šířka		Vnější výška	Délka článku (vzdálenost os)	poloměr ohybu		
		od mm	do mm	od mm	do mm	od mm	do mm	mm	mm	od mm	do mm	
Střední řada												
	66	SR300A	15	75	18	-	27	87	23	30	40	120
	68	SR300	14	36	18	-	30	52	23	30	40	120
	70	SR305A	30	50	24	-	54	74	30	35	50	150
	82	SR305	30	50	20	-	52	72	30	35	50	150
	84	SR355A	45	95	31	-	74	124	43	40	75	200
	86	SR355	45	95	30	-	74	124	45	40	75	200
	78	SR400	40	60	25	-	62	82	35	40	50	150
	80	SR435MI/ME	40	150	35	-	60	170	49	50	60	200
	82	SR445MI/ME	50	362	45	-	72	384	64	67	75	300
	84	SR660A	50	362	37	-	75	387	55	50	100	250
	86	SR770A	45	357	60	-	80	392	78	70	150	300
	88	SR475MI/ME	74	498	75,5	-	112	536	100,5	105	150	400

Tab. 8 Rozměry řetězu [39]



Výpočet délky řetězu s pevným bodem uprostřed celkové dráhy (obr. 48) se stanoví následovně:



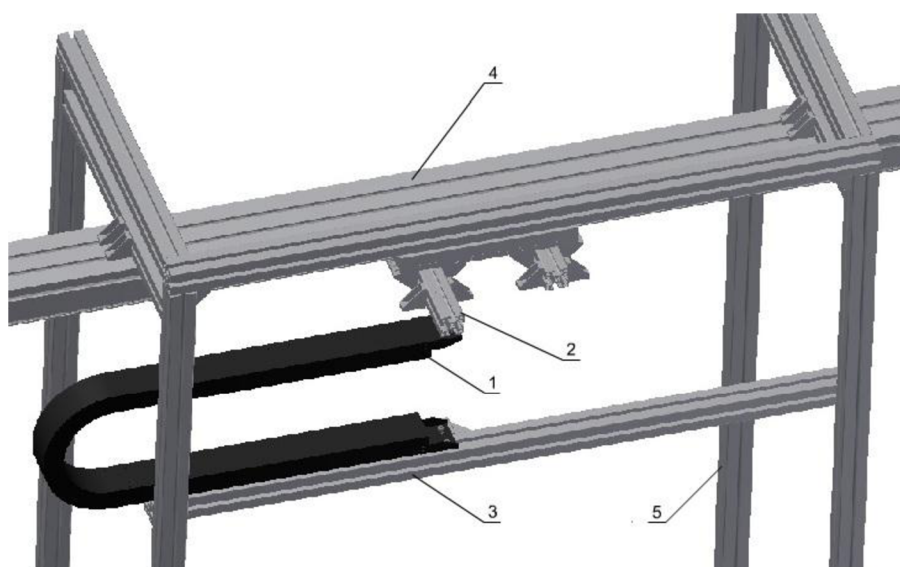
Obr. 48 Stanovení délky řetězu [39]

$$L = \frac{LS}{2} + M \quad \frac{LS}{2} \dots \dots \text{polovina celkové délky řetězu (7.30)}$$

$$L = \frac{1855}{2} + [(\pi \cdot 100) + (2 \cdot 40)] \quad M \dots \dots \text{délka ohybu } (\pi \cdot R) + (2 \cdot P)$$

$$L = 1321,6 \quad P \dots \dots \text{rozteč (délka) článku}$$

Výsledek se zaokrouhlí na násobek délky článku. Celková délka řetězu je po zaokrouhlení 1360 mm a skládá se z 34 článků. Pohyblivá část bude přichycena ke snímací hlavě pomocí hliníkového profilu a šroubů. Pevná část bude stejným způsobem upevněna v polovině délky rámu. (obr. 49)

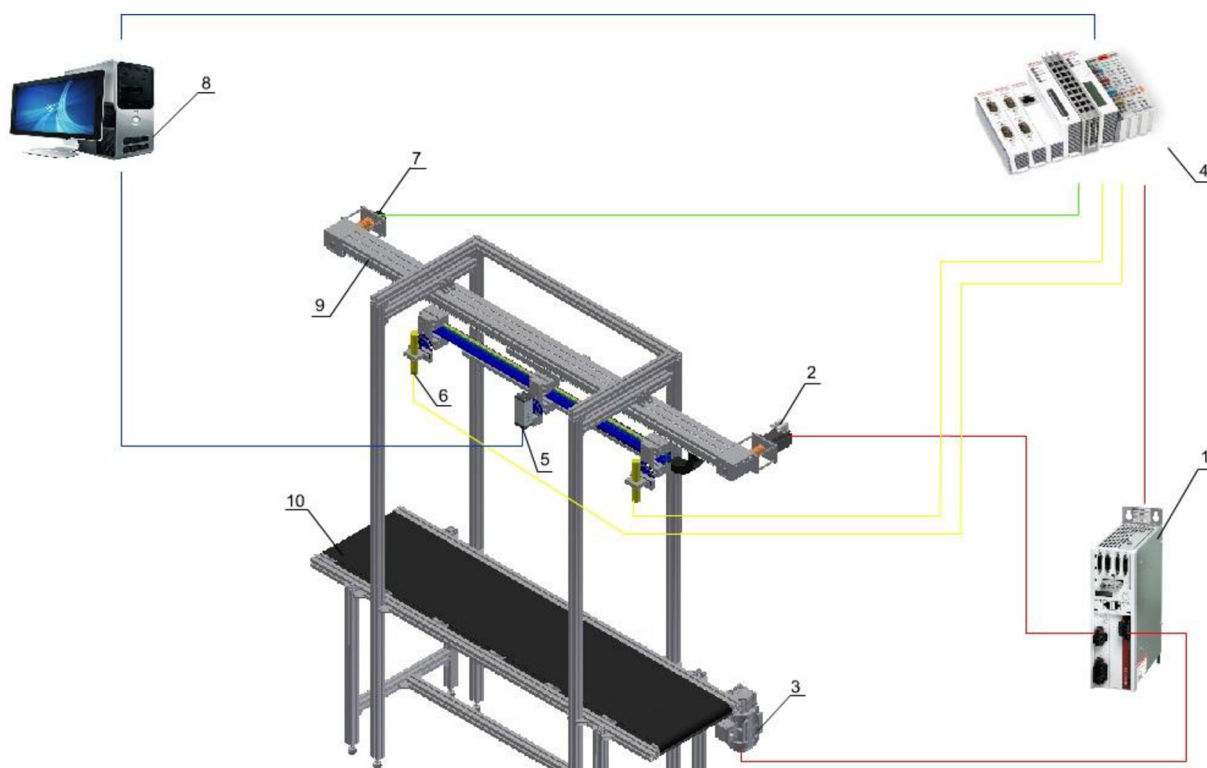


Obr. 49 Montáž řetězu

1 – energetický řetěz SR400, 2 – profil pohyblivé části řetězu, 3 – profil pevné části řetězu, 4 – lineární osa, 5 – rám



7.8 Schéma řízení



Obr. 50 Schéma řízení


1 – frekvenční měnič AX5206, 2 – servomotor AM3041, 3 – asynchronní motor BN 63B, 4 – PLC Beckhoff, 5 – kamera M2211, 6 – laser SICK, 7 – inkrementální snímač, 8 – PC, 9 – lineární osa FESTO, 10 – pásový dopravník



7.9 Sestava experimentálního pracoviště



Obr. 51 Sestava experimentálního pracoviště

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 62
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

8 Závěr

Teoretická část diplomové práce se zabývá důvodem vzniku, základním popisem a principem strojového vidění. Jsou popsány systémy vhodné pro realizaci strojové vidění, jejich možnosti použití, výhody a nevýhody. Velký vliv na výslednou kvalitu snímaného obrazu má osvětlení. Způsobu osvětlení se proto věnuje samostatná kapitola.

Teoretická část v druhé polovině popisuje možnosti snímání 3D obrazu. Jejich rozdělení na pasivní a aktivní metody, princip snímání a možné obtíže při aplikaci v praxi.


Konstrukční část diplomové práce se zabývala zhotovením pracoviště pro snímání 3D obrazu. Bylo zhotoveno několik možných variant každé části (rámu, snímací hlavy). Z nich se poté vybrala neoptimálnější možnost. Pro konstrukci se využil pásový dopravník, který již byl ve vlastnictví ÚVSSR. Snímané součásti se měli pohybovat po dopravníku, další způsob spočíval v pohybu snímací hlavy nad zastaveným dopravníkem. Pohyb snímací hlavy se zajistil lineární osou s ozubeným řemenem, která je poháněna synchronním servomotorem spojenou s osou přes bezvůlovou hřídelovou spojku. Druhým požadavkem byla možnost snímání 3D obrazu několika způsoby. Z toho důvodu je kamera spolu s lasery připevněna pomocí šroubů k vozíkům pohybujících se po lineárním vedení. Změnou vzdálenosti kamery a laserů a jejich natočením lze realizovat jednotlivé způsoby snímání 3D obrazu.

Pásový dopravník je tvořen hliníkovým konstrukčním systémem. Konstrukce se tedy snažila co nejvíce využít tohoto systému. Výhodou je snadné uchycení k dopravníku a montáž pouze pomocí šroubů a matic přes drážku v hliníkovém profilu.

Řízení pracoviště nebylo úkolem diplomové práce, proto je v závěru práce uvedeno pouze koncepční schéma pro řízení celého pracoviště. Hlavním řídicím prvkem je PLC od firmy Beckhoff, ke kterému je napojen frekvenční měnič pro řízení motorů, kamera s lasery i inkrementální snímač polohy pro zajištění přesného polohování osy.

V době dokončování diplomové práce nebyly dodány jednotlivé prvky nutné k realizaci celého pracoviště (3D kamera, frekvenční měnič). Z tohoto důvodu nebylo možné ověřit funkci celého konstrukčního návrhu na praktickém příkladu.

Diplomová práce poskytuje možný způsob realizace experimentálního pracoviště pro snímání 3D obrazu. Konstrukce snímací hlavy umožňuje více možností snímání 3D obrazu. Díky této konstrukci lze tedy porovnat výslednou kvalitu obrazu jednotlivých možností snímání 3D obrazu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 63
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

9 Seznam použité literatury

- [1] HAVLE, Otto. *Designtech.cz* [online]. 2008.11.22 [cit. 2010-12-10]. Strojové vidění, 1. díl. Dostupné z WWW: <http://www.designtech.cz/c/it-reseni/strojove-videni-1-dil.htm>
- [2] HAVLE, Otto. Smart kamery pro strojové vidění. *Automatizace* [online]. 2007, 1, [cit. 2010-12-10]. Dostupný z WWW: <http://automatizace.cz/article.php?a=1588>.
- [3] *Strojove-videni.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-12-10]. Co je strojové vidění. Dostupné z WWW: <http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/co-je-strojove-videni.htm&id=11#>.
- [4] *SICK* [online]. 2011 [cit. 2010-12-15]. Kamerové senzory. Dostupné z WWW: <https://mysick.com/eCat.aspx?go=Finder&Cat=Row&At=Fa&Cult=Czech&Category=Produktfinder>.
- [5] *Strojove-videni.cz* : *Strojové vidění obecný přehled* [online]. 2008 [cit. 2011-01-31]. Ke stažení. Dostupné z WWW: <http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/download.htm&id=26>.
- [6] *Netcam.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-12-20]. Obrazové snímače CCD vs. CMOS. Dostupné z WWW: <http://www.netcam.cz/encyklopedie-ipzabezpeceni/obrazove-snimace-ccd-cmos.php>
- [7] *Robotics*. [s.l.] : Appin Knowledge Solutions, 2007. 343 s. ISBN 978-1-934015-02-5.
- [8] *Strojove-videni.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-01-03]. Osvětlení ve strojovém vidění. Dostupné z WWW: http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/tp_osvetleni.htm&id=23.
- [9] *Strojove-videni.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-01-03]. Kamera pro systém strojového vidění. Dostupné z WWW: http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/tp_kamera.htm&id=21.
- [10] HAVLE, Otto. Osvětlovače pro systémy strojového vidění. *Automatizace* [online]. 2005, 7-8, [cit. 2011-01-03]. Dostupný z WWW: <http://automatizace.cz/article.php?a=773>.
- [11] HAVLE, Otto. Strojové vidění IV: Osvětlovače. *Automa* [online]. 2008, 4, [cit. 2011-01-03]. Dostupný z WWW: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36988.
- [12] Strojové vidění – několik úskalí návrhu systémů. *Automa* [online]. 2010, 04, [cit. 2011-01-31]. Dostupný z WWW: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40946.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 64
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [13] *SICK* [online]. 2010 [cit. 2011-01-25]. 3D kamerové systémy SICK. Dostupné z WWW: <<http://www.sick.cz/cz/servissupport/traning/divize1/kamerovesystemy/3d/cs>>.
- [14] *Strojove-videni.cz : Strojové vidění - Příklad technologie 1* [online]. 2008 [cit. 2011-01-25]. Ke stažení. Dostupné z WWW: <<http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/download.htm&id=26>>.
- [15] SICILIANO, Bruno; KHATIB, Oussama. *Handbook of robotics*. [s.l.] : Springer, 2008 . 1611 s.
- [16] *TTU Advanced Robotics* [online]. 2010 [cit. 2011-01-31]. Vision and Control of Line Following Robots. Dostupné z WWW: <<http://ttuadvancedrobotics.wikidot.com/vision-and-control-of-line-following-robots>>.
- [17] *Aluteckk.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-04-10]. ALUTEC K&K - katalog produktů. Dostupné z WWW: <<http://www.aluteckk.cz/katalog/katalog.php>>.
- [18] *Aluteckk.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-04-10]. JEDINÝ ČESKÝ VÝROBCE HLINÍKOVÉHO KONSTRUKČNÍHO SYSTÉMU. Dostupné z WWW: <<http://www.aluteckk.cz/>>.
- [19] *Mysick.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Vyhledávač produktů. Dostupné z WWW:<<https://mysick.com/eCat.aspx?go=Finder&Cat=Row&At=Fa&Cult=Czech&Category=Produktfinder>>.
- [20] *Igus.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. DryLin® T - Lineární vodící systémy. Dostupné z WWW: <<http://www.igus.cz/wpck/default.aspx?PageNr=1853&CL=CZ-cs>>.
- [21] *Catalog.item24.us* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Shaft-Clamp Profile. Dostupné z WWW: <http://catalog.item24.us/product_info.php?info=p44203_Shaft-Clamp-Profile-8-D10.html&tab=info>.
- [22] *Bonfiglioli.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Products. Dostupné z WWW: <<http://www.bonfiglioli.com/en/industrial/products/p/universal-worm-gearmotors-vfw-series/?oid=1&cid=19>>.
- [23] *Mmspektrum.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Lineární pohony na vzestupu. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/linearni-pohony-na-vzestupu>>.
- [24] *Teatechnik.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Lineární osa se šroubem NL. Dostupné z WWW: <<http://www.teatechnik.cz/linearni-osa-sroubem-nl/>>.
- [25] *Festo.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Informace o EGC-BS. Dostupné z WWW:<http://xdki.festo.com/xdki/data/doc_ENGB/PDF/EN/EGCBS_EN.PDF>.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 65
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

- [26] *Hiwin.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Lineární moduly KK. Dostupné z WWW: <<http://www.hiwin.cz/cs/linearni-moduly-kk/catalog.html?id=180>>.
- [27] *Festo.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Informace o EGC-TB. Dostupné z WWW:<http://xdki.festo.com/xdki/data/doc_ENGB/PDF/EN/EGCTB_EN.PDF>.
- [28] *Pbcllinear.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. MTB055 Linear Actuator. Dostupné z WWW: <<http://www.pbcllinear.com/MTB055-Linear-Actuator>>.
- [29] *Pbcllinear.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. MTD Linear Actuator. Dostupné z WWW: <<http://www.pbcllinear.com/MTD-Linear-Actuator>>.
- [30] *Teatechnik.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Lineární osa s řemenem NewGen. Dostupné z WWW: <<http://www.teatechnik.cz/linearni-osa-remenem-new-generation/>>.
- [31] *Mti.tul* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Snimace_polohy. Dostupné z WWW: <http://www.mti.tul.cz/files/svm/Snimace_polohy.pdf>.
- [32] *Teatechnik.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-04-30]. Vlnovcové spojky typ BK. Dostupné z WWW: <<http://www.teatechnik.cz/typ-bk/>>.
- [33] *Beckhoff.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Drives. Dostupné z WWW: <http://download.beckhoff.com/download/Document/Drives/AM3000_Am3500_BA_en.pdf>.
- [34] *Beckhoff.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. AX52xx | Digital Compact Servo Drives (2-channel). Dostupné z WWW: <<http://beckhoff.com/>>.
- [35] *Haberkorn.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Hřidelové spojky. Dostupné z WWW: <<http://www.haberkorn.cz/hridelove-spojky/>>.
- [36] *Tyma.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Ozubené řemeny SYNCHROFORCE® CXP . Dostupné z WWW: <<http://www.tyma.cz/produkty/remeny/ozubene/cxp/>>.
- [37] *Rubena.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Úvodní stránka. Dostupné z WWW: <http://www.rubena.cz/files/Remeny/KR-14_Montaz.pdf>.
- [38] *Elearn.vsb.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. DYNAMIKA - KAPITOLY . Dostupné z WWW: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/DYN1/Dynamika_kapitoly.htm>.
- [39] *Lappczech.lappgroup.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Katalog SILVYN® CHAIN. Dostupné z WWW: <<http://lappczech.lappgroup.com/index.php?id=722777&rel=32358bda>>.

**10 Seznam zkratk a veličin**

Symbol veličiny	Význam veličiny	Jednotka
a	zrychlení	[ms ⁻²]
a _{max}	maximální zrychlení	[ms ⁻²]
d _{min}	minimální průměr pastorku	[mm]
F _g	tíhová síla	[N]
F _{gc}	celková tíhová síla	[N]
F _R	dovolené radiální zatížení pastorku	[N]
F _{ver}	bezpečnost	[N]
F _x	síla v ose x	[N]
F _y	síla v ose y	[N]
F _{ymax}	maximální síla v ose y	[N]
F _z	síla v ose z	[N]
F _{zmax}	maximální síla v ose z	[N]
g	gravitační zrychlení	[N]
J _a	moment setrvačnosti osy	[kgm ²]
J _m	moment setrvačnosti motoru	[kgm ²]
J _{RHM}	moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru	[kgm ²]
J _s	moment setrvačnosti spojky	[kgm ²]
k _p	posuvová konstanta řemene	[mm]
L	celkový posuv osy	[mm]
L _o	posuv na otáčku	[mm]
l _z	délka zdvihu	[mm]
m	hmotnost	[kg]
m _h	váha snímací hlavy	[kg]
M _{ka}	klopný moment	[Nm]
M _M	potřebný moment motoru	[Nm]
M _o	moment motoru	[Nm]
M _š	točivý moment šnekové převodovky	[Nm]
M _x	moment v ose x	[Nm]
M _{xmax}	maximální moment v ose x	[Nm]
M _y	moment v ose y	[Nm]
M _{ymax}	maximální moment v ose y	[Nm]
M _z	moment v ose z	[Nm]
M _{zmax}	maximální moment v ose z	[Nm]
n _m	zvolené otáčky motoru	[min ⁻¹]
p	počet pulzů na otáčku	[-]
s _c	celková dráha	[m]
T	těžiště sestavy kamery	[mm]
T _c	celkový čas	[s]
t _R	vypočítaná doba rozběhu	[s]
T _S	těžiště snímací hlavy	[mm]
t _s	doba běhu	[s]
v _{rp}	rychlost osy	[m/s]
x	výška laserového paprsku	[mm]

x_t	těžiště v ose x	[mm]
x_{tc}	poloha těžiště sestavy v ose x	[mm]
y	šířka laserového paprsku	[mm]
y_t	těžiště v ose y	[mm]
y_{tc}	poloha těžiště sestavy v ose y	[mm]
α	úhel vyzařování laserového paprsku	[°]
β	úhel sklonu laseru	[°]
η	účinnost řemene	[%]
ε_m	úhlové zrychlení motoru	[s ⁻²]

11 Seznam příloh

- [1] CD
- [2] Výkres sestavy 1-50/10-01/00
- [3] Výkres podsestavy 2-50/10-01/01
- [4] Kusovník podsestavy K-4-50/10-01/01