

Pracovní stojan pro uchycení termovizní kamery

Tomáš Trusina

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Trusina**
Osobní číslo: **T14612**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Pracovní stojan pro uchycení termovizní kamery**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na dané téma
2. Navrhněte varianty konstrukčního řešení stojanu pro termovizní kameru
3. Vyberte nejvhodnější variantu a vyhotovte výkres sestavy a výrobní výkresy
4. Zhodnoťte výhody a nevýhody navrhovaného řešení



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Shingley, Mishke, Budyans: Konstruování strojních součástí
2. Pytel, Kiusalaas :Mechanics of Materials
3. Springer Handbook of Mechanical Engineering
4. Mott: MACHINE ELEMENTS IN MECHANICAL DESIGN
5. MORAN, SHAPIRO, BOETTNER, BAILEY: FUNDAMENTALS OF ENGINEERING THERMODYNAMICS
6. Thermal imaging guidebook for industrial applications
7. Horvath: Mastering 3D Printing
8. a dle doporučení vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaroslav Maloch, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. ledna 2016

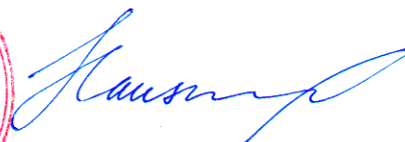
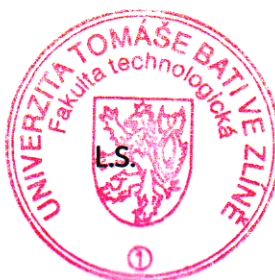
Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 29. ledna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: TRUSINA TOMAŠ

Obor: PROCESNÍ INŽENÝRSTVÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 2. 3. 2016


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výtěžku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Teoretická část této práce se zabývá definicí tepla a tepelného šíření. Dále potom základními pravidly a zákony pro optiku a optickou trasu a rozdělením termokamer dle použití a rozsahu.

Praktická část potom zvolením konkrétního řešení stojanu a jeho celkovým rozpracováním.

Klíčová slova:

teplo, záření, optika, termokamera

ABSTRACT

The theoretical part of this work is dealing with a definition of heat and heat transfer. Further on with basic rules and laws for optics and optical path and with distribution of thermocamers by their application and range.. The practical part then focuses on choosing of a particular solution of the stand and its overall development.

Keywords:

heat, radiation, optics, thermocamer

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné. A děkuji panu Ing. Jaroslavu Malochovi, CSc. za odborné vedení, rady a cenné připomínky při tvorbě této práce.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TEPLLO	112
1.1 TERMODYNAMIKA	112
1.1.1 První termodynamický zákon.....	123
1.1.2 Druhý termodynamický zákon	123
1.2 TEPELNÉ ZÁŘENÍ	134
1.2.1 STEFAN-BOLTZMANNŮV zákon	134
1.2.2 WIENŮV zákon	14
1.2.3 PLANCKŮV zákon.....	145
2 OPTIKA	167
2.1 ODRAZ SVĚTLA.....	167
2.1.1 Zrcadla:.....	178
2.2 LOM SVĚTLA.....	220
2.2.1 Schnellův zákon	1920
2.2.2 Čočky	201
3 TERMOKAMERY	223
3.1 KONSTRUKCE TERMOKAMER	223
3.1.1 Parametry charakterizující termokameru	245
3.1.2 Rozměry kamer SC660, SC6800	246
II PRAKTICKÁ ČÁST	278
4 POŽADAVKY NA STOJAN	289
4.1 NÁVRH STOJANU- SCHÉMA	289
4.2 ZPRACOVÁNÍ ZVOLENÉHO ZPRACOVÁNÍ	31
4.2.1 Volba rozměrů v ose y.....	3031
4.2.2 Celkový pohled a princip	31
4.2.3 Jednotlivé díly	334
4.3 KONTROLA ZÁVITU.....	40
4.3.1 Kontrola na ohyb	3040
4.3.2 Kontrola závitu v tahu	3141
5 PARAMETRY	442
ZÁVĚR	4344
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	4445
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	456
SEZNAM OBRÁZKŮ	478
SEZNAM PŘÍLOH	489

ÚVOD

V teoretické části této práce bude vysvětlena problematika, kterou je nutné vzít v úvahu při práci s termokameru. Tou je teplo a termodynamika, tepelné záření, optické zákonitosti, rozdělení a typy termokamer.

V praktické části je práce zaměřena na samotnou konstrukci s přihlédnutím na ergonomické podmínky, zjednodušením pro obsluhu a možnost požití více typů kamer pro jeden stojan. Konkrétně kamery SC660 a SC6800. Konstrukční návrh je vykreslen v programu Autodesk Inventor Professional verze 2014 a většina součástí vyrobena pomocí metody rapid prototyping.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEPLLO

Tepllo je fyzikální veličina určená energií, kterou při tepelné výměně předá teplejší těleso studenějšímu. Je to energie, kterou těleso buď přijme, nebo odevzdá při tepelné výměně. Konec tepelné výměny nastává při tzv. rovnovážném stavu, kdy se vyrovnají teploty obou těles. Celkové tepllo této soustavy zůstává stálé, tzn. že tepllo přijaté chladnějším tělesem je rovno tepllo odevzdaného teplejším tělesem. Pro tento děj tedy platí zákon zachování energie (teplla).

Základní vztah pro výpočet teplla:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) \quad (1)$$

Q	tepllo	[J]
c	měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
m	hmotnost tělesa	[kg]
t ₂	původní teplota	[K]
t ₁	konečná teplota	[K]

1.1 Termodynamika

Termodynamika je část fyziky, která se zabývá zákony, jimiž se řídí přeměna tepelné energie v jiné druhy energie, především v energii mechanickou. Termodynamika je založena na dvou termodynamických zákonech.

Základy termodynamiky položil Nicolas Carnot, který v první polovině 19. století popsal cyklus parního stroje. V tomto cyklu, nyní známém jako Carnotův cyklus, probíhá ohřívání, expanze, ochlazení a opětné stlačení ideálního plynu. Jeho výklad upřesnil Rudolf Clausius, který také formuloval první a druhý zákon termodynamiky a zavedl pojem kruhových a nevratných dějů a také entropie.

1.1.1 První termodynamický zákon

– zákon zachování energie pro mechanické a tepelné děje

Změna vnitřní energie soustavy se rovná součtu prací vykonané okolními tělesy působící na soustavu silami a tepla Q přijatého soustavou od okolních těles.

Tento zákon vychází ze zákona zachování energie, tedy nám neříká nic jiného, než že energie se nemůže ztratit ani vzniknout z ničeho, takže její velikost pro izolovanou soustavu je stálá. Pouze se jeden druh energie mění v jiný. Jednoduchý příklad můžeme najít

v obyčejném životě, když třeme rukama o sebe a cítíme, že teplota rukou se zvýšila.

V tomto případě se mění mechanická energie v tepelnou.

Tento termodynamický zákon můžeme také vyslovit druhým způsobem: Není možno sestrojít stroj, který se plynule dodával mechanickou energii, aniž by při tom nespotřeboval ekvivalentní množství jiné energie.

Z matematického hlediska formulujeme tento termodynamický zákon následovně:

$$\Delta U = W + Q \quad (2)$$

ΔU přírůstek vnitřní energie soustavy [J]

W součet práce vykonané okolními tělesy [J]

Q teplo [J]

1.1.2 Druhý termodynamický zákon

-Teplo nemůže samovolně přecházet ze studenějšího tělesa na teplejší.

Tento zákon nám říká, že pokud k sobě přiložíme dvě tělesa o různých teplotách, tak se teplo bude přenášet z teplejšího na studenější. Pokud budeme chtít tento děj vrátit zpět, musíme vynaložit určitou energii, kterou budeme tento děj popohánět. Změna entropie závisí nejen na množství přeneseného tepla, ale i na teplotě, při které přenos probíhá.

Matematické vyjádření:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (3)$$

$$\Delta S = S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}$$

S	přírůstek entropie ($S \geq 0$)	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
Q	teplo přenesené do nebo ze systému během děje	[J]
T	teplota systému	[K]

1.2 Tepelné záření

Každé těleso o teplotě vyšší než 0°K vyzařuje do okolí záření v oblasti infračerveného spektra. Protože je záření způsobené teplotou povrchu tělesa, nazýváme jej tepelné záření. Jelikož je intenzita záření na teplotě závislá, lze změřením intenzity záření a přepočtem stanovit teplotu povrchu tělesa.

1.2.1 STEFAN-BOLTZMANNŮV zákon

Pomocí STEFAN-BOLTZMANNŮVA zákona definujeme, že vyřazovací intenzita roste se čtvrtou mocninou povrchové teploty tělesa. Známe-li emisivitu (definována jako poměr energie vyzařované objektem při dané teplotě k energii vyzařované černým tělesem při stejné teplotě) povrchu můžeme jej zapsat jako:

$$I = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (4)$$

I	celková intenzita záření	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$
ε	emisivita	[-]
σ	Stefan-Boltzmannova konstanta ($6.6760400 \cdot 10^{-8}$)	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-4}]$
T	termodynamická teplota	[K]

1.2.2 WIENŮV zákon

Dále využíváme WIENŮV posouvající zákon, který říká:

Při záření s největší intenzitou je maximální vlnová délka nepřímo úměrná teplotě černého tělesa. Tzn. že se maximální intenzita vyzařování s klesající teplotou posouvá směrem k delším vlnovým délkám.

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (5)$$

λ_{\max}	maximální vlnová délka	[mm]
b	Wienova konstanta (2,898)	[mm·K]
T	teplota povrchu tělesa	[K]

Pro lepší představu uveďme jako příklad zahřívání ocelového tělesa v kovářské výhni. Při nízkých teplotách nepozorujeme žádné viditelné vyzařování. Při teplotách vyšších se maximum vyzařování posouvá ke kratším vlnovým délkám. Zhruba nad teplotou 500°C vyzařuje už kov i viditelné světelné záření.

1.2.3 PLANCKŮV zákon

V roce 1900 vyslovil Max Planck tvrzení, které zahrnuje obě předešlé. Za tento objev získal v roce 1918 Nobelovu cenu za fyziku.

Planckův zákon vyjadřuje závislost intenzity záření absolutně černého tělesa na frekvenci. Černé těleso vyzařuje nebo pohlcuje energii pouze po celistvých násobcích, po kvantech. Každému násobku je přiřazena energie v závislosti na frekvenci záření.

Planckův zákon

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (6)$$

E	energie kvanta záření	[J]
h	Planckova konstanta ($h = 6,626 \times 10^{-34}$)	[J·s]
f	frekvence záření	[s ⁻¹]
c	rychlost světla ve vakuu	[m·s ⁻¹]
λ	vlnová délka	[mm]

2 OPTIKA

V této podkapitole si zavedeme základní pojmy a pravidla pro lepší pochopení dráhy, kterou urazí světelný paprsek při odrazu nebo průchodem rozlišným prostředím.

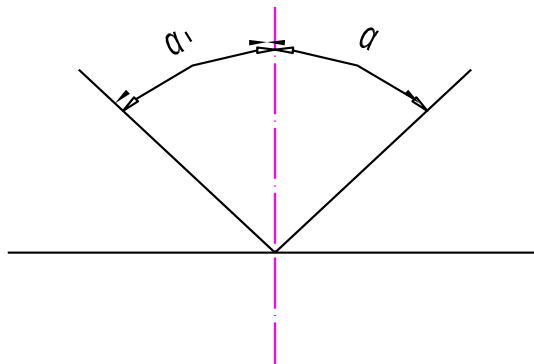
2.1 Odraz světla

Pro odraz světelných paprsků se využívá zrcadel. Zrcadlo jako takové je povrch odrážející světelný paprsek do jednoho směru. Oproti tomu jiné povrchy jej pohlcují nebo rozptylují do různých směrů. K odrazu světla dochází, pokud paprsek dopadne na rozhraní dvou prostředí s různými optickými vlastnostmi a vrací se do původního prostředí.

Velikost úhlu odrazu α' se rovná velikosti úhlu dopadu α . Přičemž odražený paprsek zůstává v rovině dopadu. Rovina dopadu je určena dopadajícím paprskem a kolmicí dopadu.

Tedy:

$$\alpha' = \alpha \quad (7)$$



Obr. 1. Odraz světla

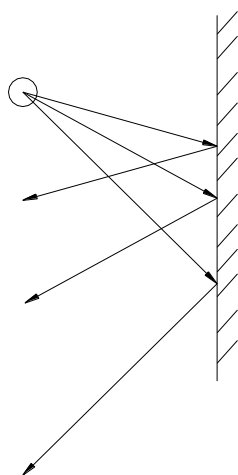
α'	úhel odrazu	$[\circ]$
α	úhel dopadu	$[\circ]$

2.1.1 Zrcadla:

Existuje několik základních typů zrcadel:

Rovinné zrcadlo

Jedná se o lesklou rovinnou plochu, na které dochází k odrazu svět. paprsků.



Obr. 2. Odraz na roviném zrcadle

Kulová (sférická) zrcadla

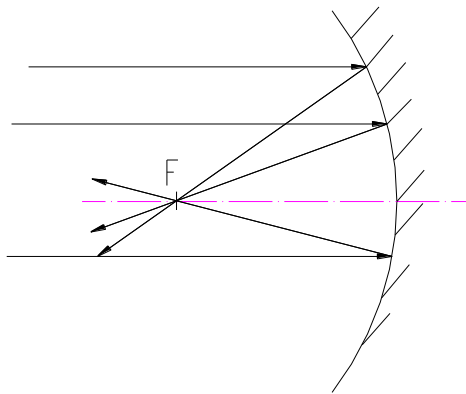
Lesklá plocha umístěná na kulovém vrchlíku, kde vzniká odraz.

jsou definovány:

středem křivosti	C		[mm]
ohniskem	F		[mm]
poloměrem křivosti	r	$r= CV $	[mm]
vrcholem zrcadla	V		[mm]

Dutá (konkávni)

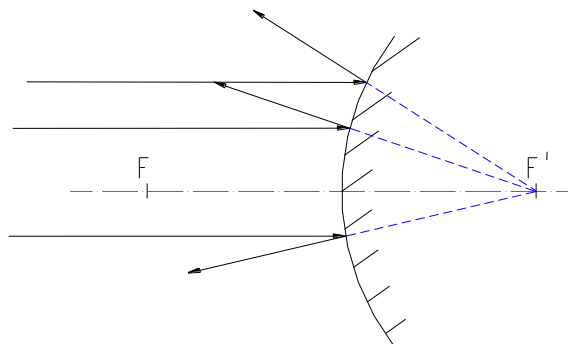
Pro odraz se využívá vnitřní strany zakulacené plochy. Paprsky směřující rovnoběžně s optickou osou se po dopadu na lesklou plochu odrážejí do ohniska zrcadla a obráceně. Z tohoto důvodu se využívají například pro výrobu reflektorů.



Obr. 3. Konkávni zrcadlo

Vydutá (konvexní)

Zde se pro odraz využívá vnější plochy kulového vrchlíku. Paprsky, které směřují s optickou osou rovnoběžně se od zrcadla odrážejí směrem od ohniska, které leží za zrcadlem a obráceně. Proto jich využíváme například v dopravě na méně přehledných křižovatkách. Zvětšují zorné pole a tím umožní sledovat větší část vozovky.



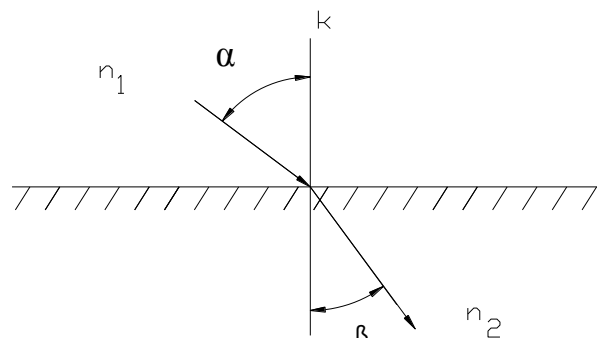
Obr. 4. Konvexní zrcadlo

2.2 Lom světla

K lomu světla dochází, prochází-li světelný paprsek přes rozhraní dvou prostředí s opticky odlišnými vlastnostmi. Lomu světla a jeho soustředěním do jednoho bodu využíváme v optice pro zdánlivé přiblížení či oddálení pozorovaných objektů. Pro tento záměr využíváme nejčastěji čoček.

2.2.1 Schnellův zákon

Při přechodu paprsků mezi různými prostředí, tedy při lomu mohou nastat 2 případy lomu (lomu ke kolmici a od kolmice). Abychom zjistili, kam se bude paprsek světla na rozhraní lámat, využíváme Schnellova zákona. Ten zahrnuje vliv hustoty prostředí - resp. rychlost šíření světla v daném prostředí.



Obr. 5. Úhel lomu

$$n = \frac{c}{v} \quad (8)$$

n	index lomu světla ($1 < n$)	[-]
c	rychlost světla ve vakuu	$[m \cdot s^{-1}]$
v	rychlost světla daného prostředí	$[m \cdot s^{-1}]$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (9)$$

α	úhel dopadu	[°]
β	úhel lomu	[°]
n_1	index lomu světla v prostředí ze kterého dopadá	[-]
n_2	index lomu světla v prostředí kterým pokračuje	[-]

2.2.2 Čočky

Čočka je čiré stejnorodé prostředí ohraničené kulovou plochou a plochou rovinou, nebo dvěma kulovými plochami. Podle toho zda paprsky jdoucí rovnoběžně se po lomu spojují, či rozptylují, rozlišujeme 2 druhy čoček.

Spojky

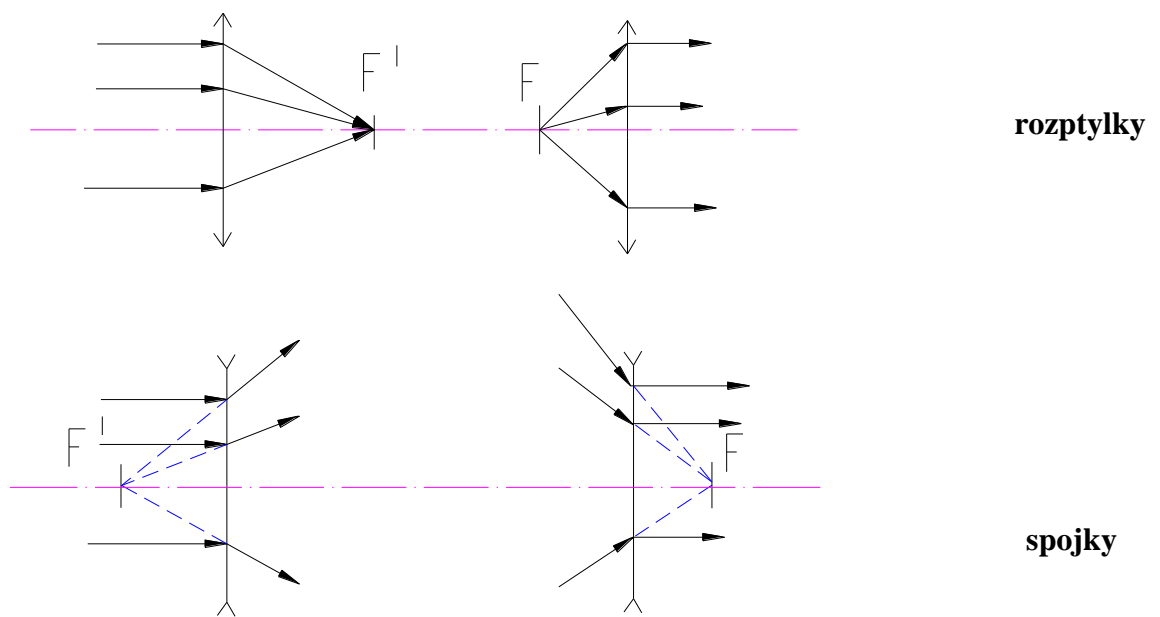
Světelné paprsky jdoucí rovnoběžně s optickou osou se po lomu sbíhají do ohniska čočky.

Rozptylky

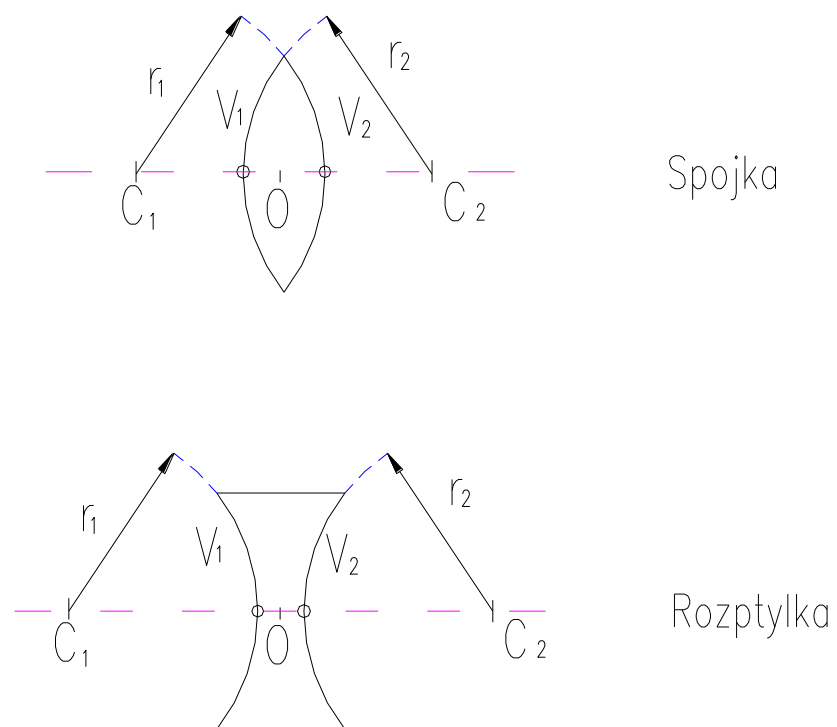
Světelné paprsky rovnoběžné s optickou osou se po lomu na čočce rozbíhají směrem od ohniska.

čočky jsou definovány:

střed optických ploch	C_1, C_2
poloměry křivosti optických ploch	r_1, r_2
vrcholy čočky	V_1, V_2
optický střed čočky	O
ohnisko	F, F'



Obr. 6. Princip čoček – lom z/do ohniska



Obr. 7. Schéma čoček

3 TERMOKAMERY

Při měření termokamerou využíváme skutečnosti, že každé těleso vysílá záření do okolí v infračervené části spektra. Toto záření je snímáno. V závislosti na vlastnostech tohoto záření je určena teplota povrchu měřeného tělesa.

3.1 Konstrukce termokamer

Základní konstrukce termokamery je dost podobná konstrukci běžné kamery. Infračervené záření dopadá přes optický systém na detektor záření, který provede měření jeho intenzity. Dále jsou naměřené hodnoty převedeny na formu přehledného výstupu - TERMOGRAMU. Což je v podstatě fotka daného objektu, kdy je každému pixelu (nejmenší plošné jednotce) fotky přiřazena barva podle tepelného rozdělení objektu. Zjednodušeně řečeno je termokamera bezkontaktní teploměr měřící na mnoha místech současně. Například při rozlišení 640x480 je určena teplota na 307200 místech současně. Z tohoto příkladu je patrný i vliv rozlišení jako jedna z charakteristik zařízení.

S ohledem na pořadí vstupu a výstupu informací je kamera složena těchto základních prvků.

Na vstupu je charakterizována svou optikou, která se z pravidla používá bez možnosti optického přiblížení. Nejčastěji se používá spojka z germania, která slouží současně jako filtr propouštějící jen záření v rozsahu infračervených vlnových délek- tedy záření pro lidské oko nerozpoznatelné (nad 0,76 μm). Z hlediska principu nejpodstatnější částí termokamery je detektor. Tato část zajišťuje převod snímaného infračerveného záření na elektrický signál, který je zpracován na výstupní snímek.

Dle typu použitého detektoru dělíme:

termokamery s tepelným detektorem
termokamery s chlazeným detektorem

Tepelné detektory

Jejich funkce je principiálně založena na změně elektronických vlastností (elektrického odporu) v závislosti na intenzitě měřeného infračerveného záření. Dalo by se přímo říci, že se mění odpor detektoru podle toho jak je zahřátý zářením. Samotná plocha detektoru o velikosti 1cm až 2cm je složena z malých samostatných detektorů.

Mezi výhody při použití tepelného detektoru řadíme například menší hmotnost i menší cenu. Mezi nevýhody potom menší citlivost oproti použití detektoru fotonového. Měřené pásmo je z obvykle v rozsahu 7 μm až 14 μm , tedy širokopásmové. Samozřejmě existují i výjimky kamer s větší citlivostí či rozdílným rozsahem měřitelných vlnových délek.

Chlazené nebo též fotonové či kvantové detektory

Zjednodušeně řečeno je jejich činnost založena na počítání fotonů elektronového záření. Tento typ detektoru musí být vždy chlazený a pro správnou činnost udržována nízká provozní teplota. Z tohoto důvodu se používá chlazení. Důsledkem toho se zvedla jejich hmotnost oproti termokamerám s tepelným detektorem. Při použití tohoto detektoru zvýšíme citlivost, ale zúžíme pásmo měřitelných vlnových délek.

Použití je nejčastěji pro vědecké a technické použití.

3.1.1 Parametry charakterizující termokameru

teplotní rozsah
spektrální rozsah
přesnost stanovení teplot
teplotní citlivost
optické rozlišení

Teplotní rozsah určuje nejnižší a nejvyšší teplotu, kterou dokáže přístroj změřit a zpracovat. Rozsah nemusí být určen jako jeden celek, ale může být rozdělen do více částí (nutno měřit ve správně zvoleném rozsahu).

Spektrální rozsah je rozsah vlnových délek, pro kameru měřitelných. Zde je největší překážkou (omezením) útlum atmosféry, který má nepříznivý vliv především při měření na větší vzdálenost.

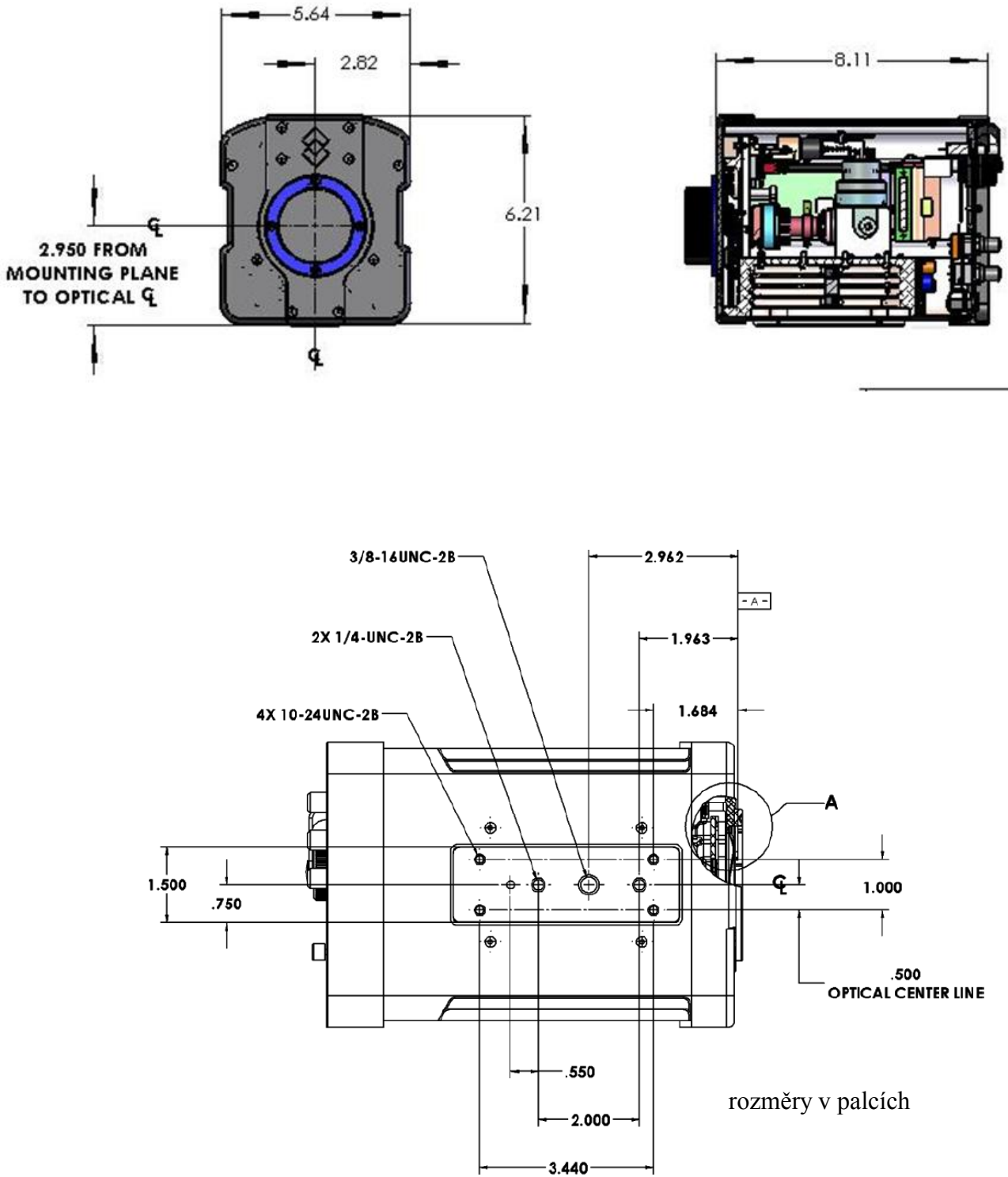
Přesnost stanovení teplot je nepřesnost měření udána ve stupních či procentech. Obvykle $\pm 2^\circ$ nebo $\pm 2\%$.

Teplotní citlivost udává nejmenší rozdíl teplot pro vyvolání rozdílného vstupního signálu. Ten musí být větší než vlastní šum zařízení.

Optické rozlišení závisí na optice samotného zařízení (čočce kamery) a detektoru kamery. Je ovlivnitelná použitím přídavných objektivů, jenž upravují zorné pole- tedy měřený prostor. Optická rozlišení se používají například 60x60, 240x180, 1024x768.

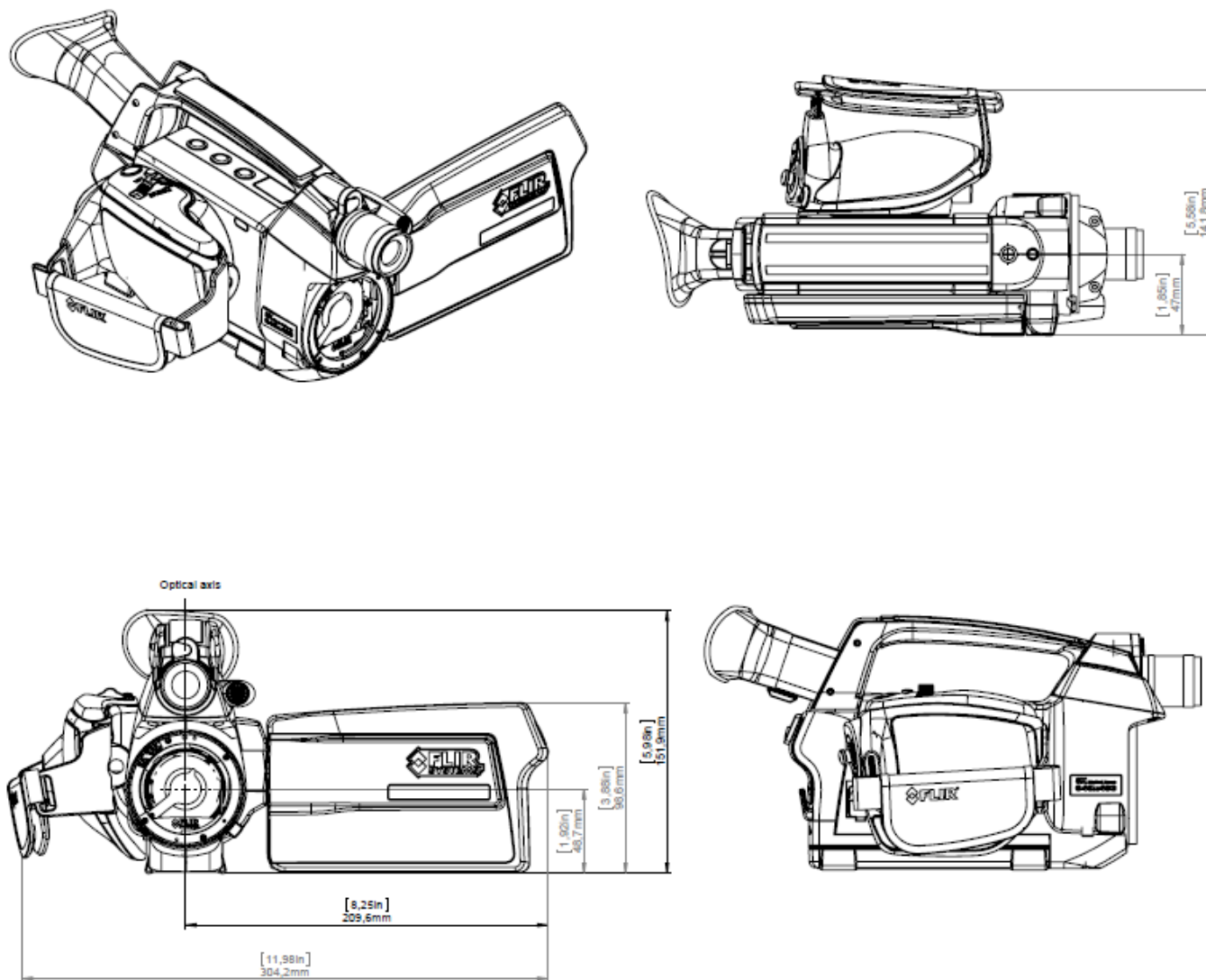
3.1.2 Rozměry kamer SC660, SC6800

Rozměry kamery SC6800.



Obr. 8. SC6800

Rozměry kamery SC660.



Obr. 9. SC660

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 POŽADAVKY NA STOJAN

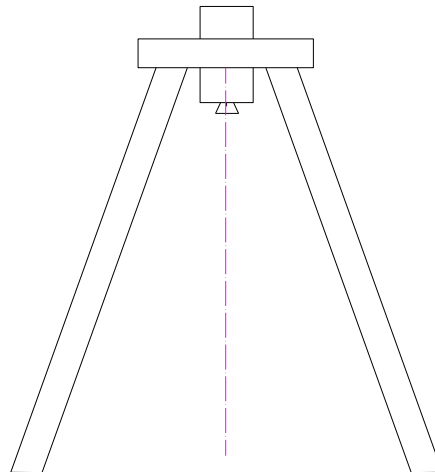
Pro návrh stojanu bylo nutné zohlednit několik vstupních parametrů.

- Kamera musí být v pracovní poloze v dostatečné (bezpečné) vzdálenosti od pracovního prostoru, abychom snížili možnost jejího poškození.
- Snímací soustava (kamera + stojan) musí být při měření v dostatečné blízkosti. Tedy máme snahu o krátkou optickou dráhu
- Snímací soustava musí být ze snímaného prostoru lehce odstranitelná, aby vznikl manipulační prostor.

4.1 Návrh stojanu- schéma

Varianta 1.

Kamera je umístěna nad prostorem, který je snímán. Je umístěna v dostatečné vzdálenosti, aby manipulační prostor byl stále přístupný.

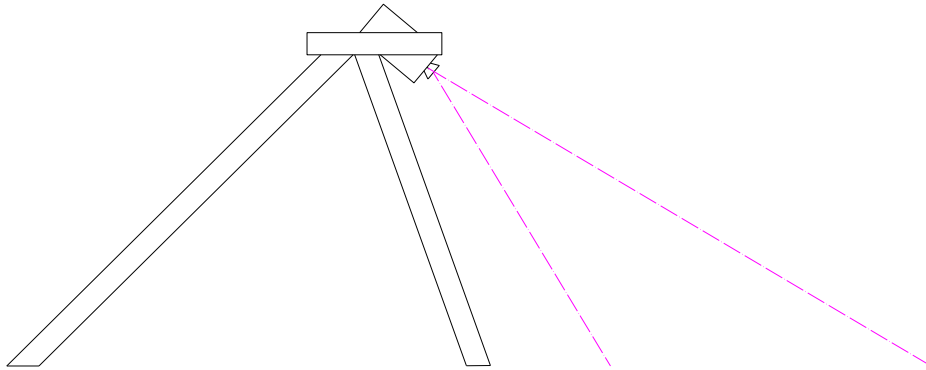


Obr. 10. Kamera nad objektem

Tato varianta není příliš vhodná. Výpary stoupající vzhůru, mohou poškodit kameru.

Varianta 2.

Kamera je umístěna diagonálně nad snímaným prostorem. Je umístěna v dostatečné vzdálenosti, aby manipulační prostor byl stále přístupný.

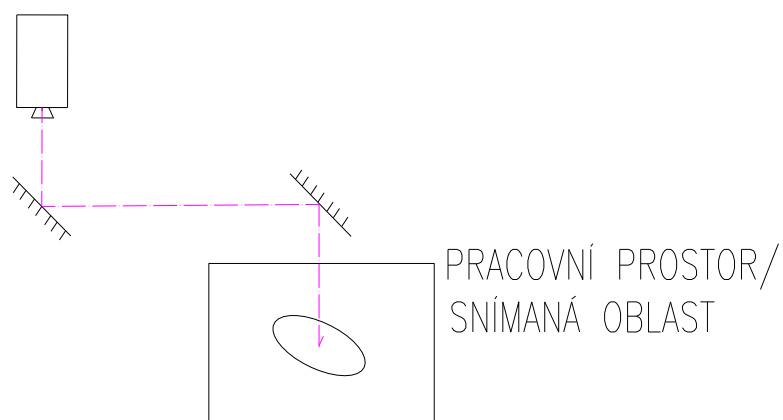


Obr. 11. Diagonálně nad

Tato varianta řeší problém, který nastal u varianty 1. Zvyšuje nároky na prostor a nevhodně zkresluje vzdálenosti měřeného objektu. Vhodnější je varianta kdy vede optická dráha kolmo na snímaný prostor.

Varianta 3.

Využívá možnosti vést optickou dráhu pomocí zrcadel. Kameru tedy umístíme dostatečně daleko a zrcadla natočíme tak, aby spojila opticky kameru s měřeným objektem.

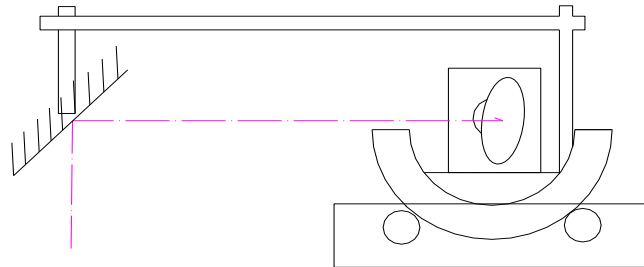


Obr. 12. Použití zrcadel

Vše je pevně přichyceno nad snímaným prostorem. Neumožňuje jednoduché – rychlé odstranění z manipulačního prostoru. Nevhodné umístění zrcadla 3 – omezuje prac. prostor.

Varianta 4.

Kolébkové uložení. Založena na principu 3. varianty. Umožňuje rychlé odstranění snímací soustavy z pracovního prostoru pomocí natočení kolem optické osy kamery.



Obr. 13. Kolébkové řešení

Tato varianta kombinuje výše zmíněné možnosti provedení a splňuje zadané vstupní podmínky. Volím tedy jako vhodné řešení.

4.2 Zpracování zvolené možnosti uchycení

Kolébkový stativ, kde se obraz pozoruje přes 2 kovová zrcadla. Kamera je při tom umístěna u zadní hrany stolu a je nakláněna (kolébána) s celým stojanem. Většina součástí vyrobena pomocí 3D tisku. Na stojan možnost přidat kryt pro větší izolaci kamery od měřícího prostoru.

4.2.1 Volba rozměrů v ose y

Optická osa kamery musí být shodná s osou, kolem které se otáčí kolébka. Tedy rozměr a vložky pod kamerou (rozměr a, na Obr. 12. žlutě) musí po součtu s výškou optické osy kamery od její základny (rozměr b) a rozměrem umístění vložky (rozměr c) být roven rádiusu kolébky.

$$r = a + b + c$$

pro kameru SC 660

$$100 = 29,3 + 48,7 + 22$$

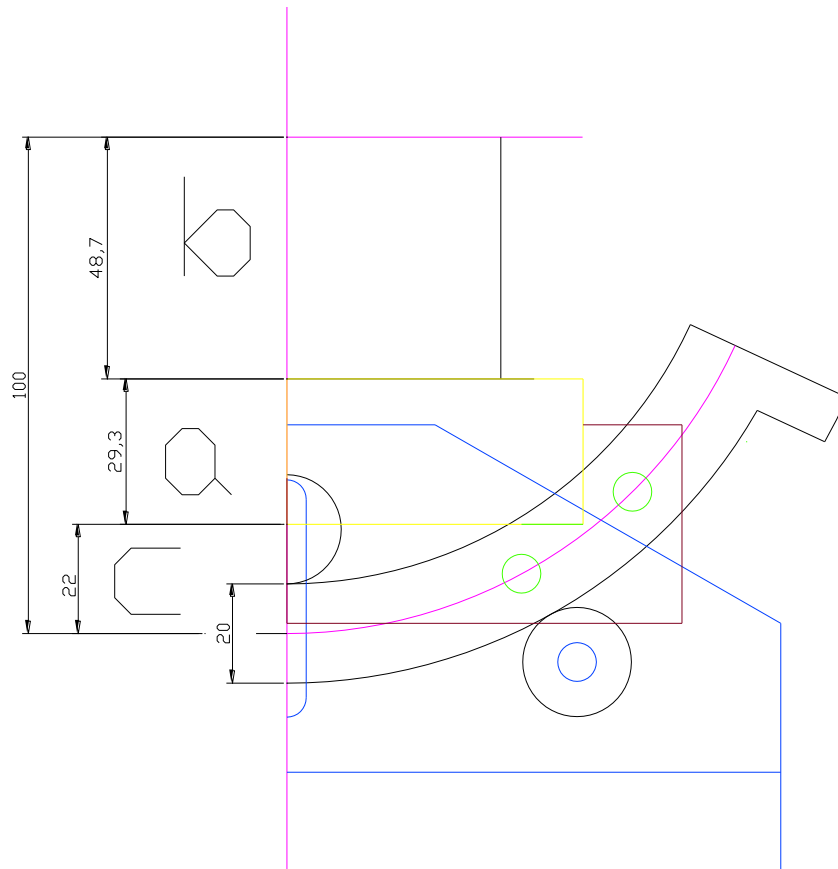
(9)

pro kameru SC 6800

$$100 = 3,1 + 74,9 + 22$$

a	rozměr vložky pod kamerou	[mm]
b	výška optické osy kamery	[mm]
c	rozměr umístění těla kolébky	[mm]

Pohled kolmý k optické ose kamery

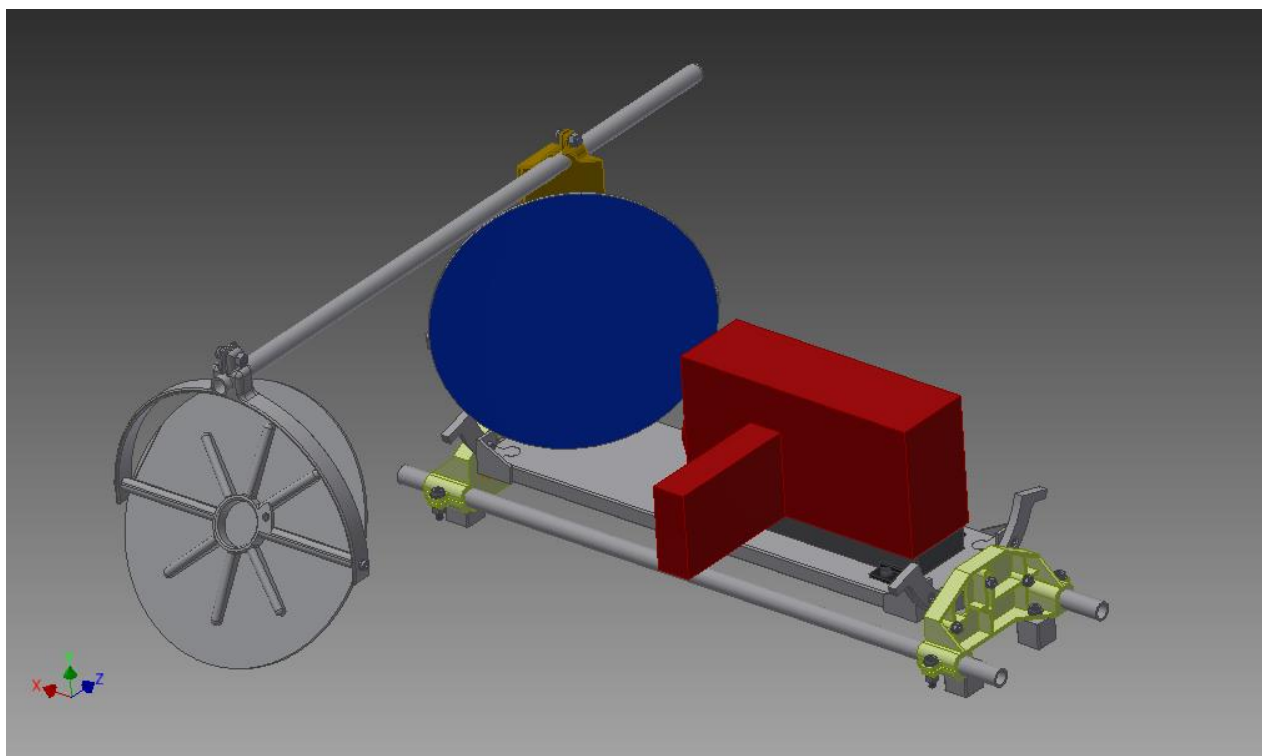


Obr. 14. Schéma rádiusů kolébky a rozměrů v ose y

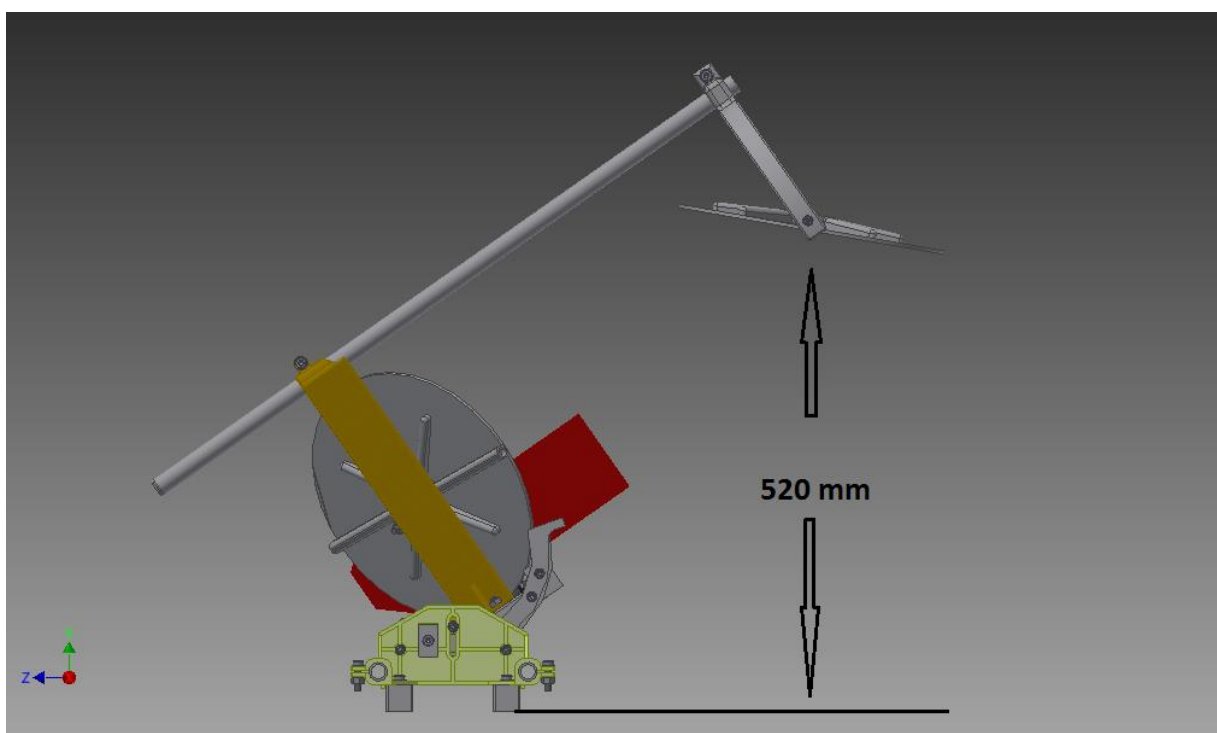
4.2.2 Celkový pohled a princip

Na obrázku 13. je vyobrazené konečné řešení stojanu pro termokameru SC660 a na obr.15. pro kameru SC6800. Kamery samotné jsou zobrazena pouze ilustrativně. Výkresová dokumentace všech součástí je zařazena k této práci v přílohách. První zrcadlo je připevněno pevně pod úhlem 45° . Druhé má možnost rotace kolem osy Z a X.

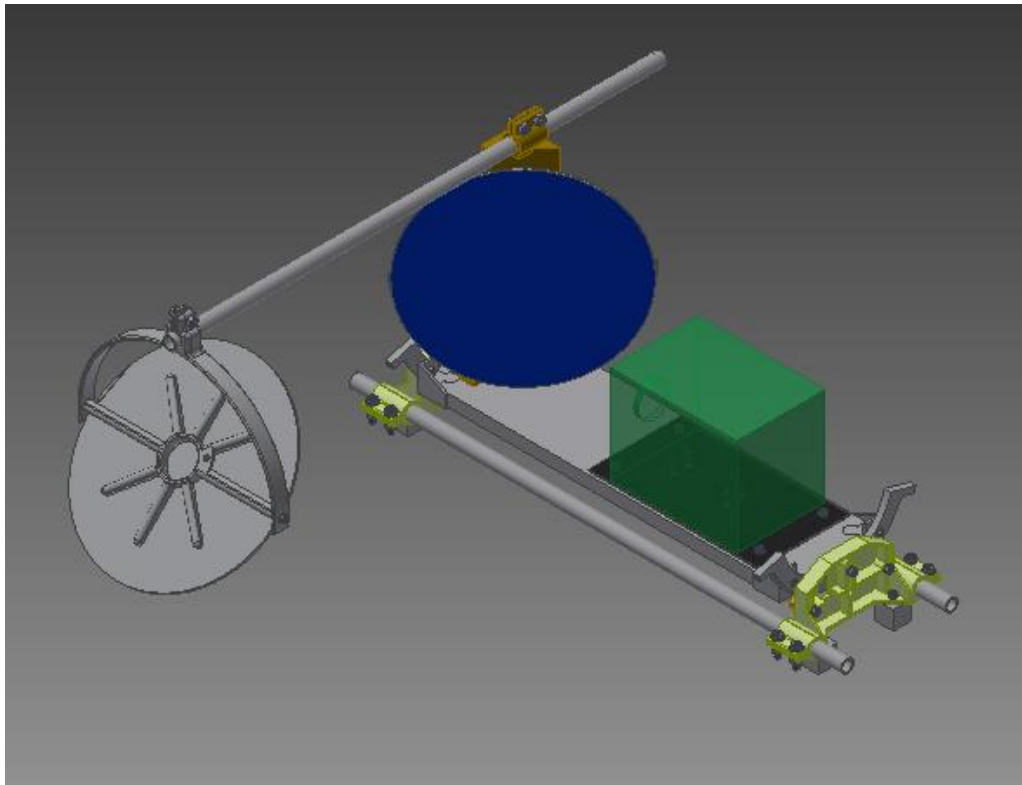
Celá kolébka je položena na 4 ložiscích a přitlačena 2 ložisky, tím je zajištěna vzájemná poloha a natočení 2 hlavních podsestav- Rámu a Kolébky. Pro aretaci celkového naklonění je využita brzda na jednom nebo obou čelech rámu.



Obr. 15. Celkový pohled – nulová poloha SC660



Obr. 16. Boční pohled v maximální poloze

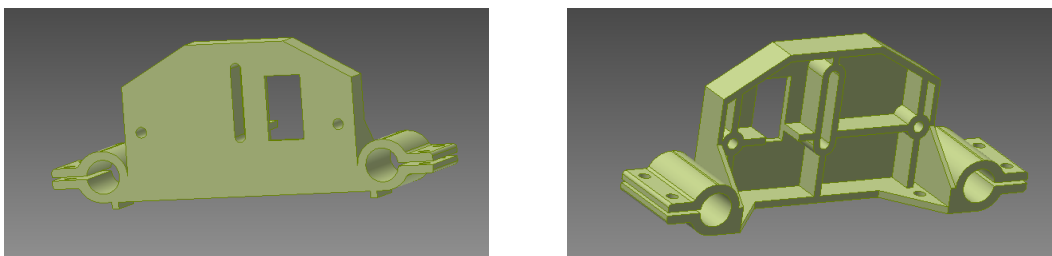


Obr. 17. Celkový pohled – nulová poloha SC6800

4.2.3 Jednotlivé díly

Rám

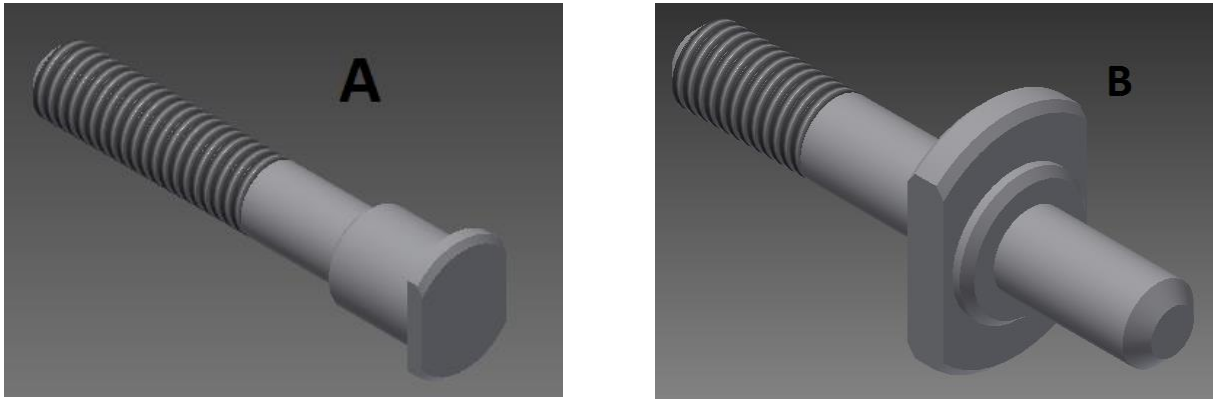
Z důvodu úspory materiálu je rám tvořen 4 částmi. Těmi jsou 2 shodná čela (Obr. 16.) otočená rovinnou plochou k sobě ve vzdálenosti 610 mm a 2 tenkostěnné tyče o vnějším průměru 21,5 mm.



Obr. 18. Čelo rámu

Kolík pro ložisko

Kolíky A jsou umístěny v rámu v kruhových otvorech a z protější strany stáhnuty maticí. Kolíky B jsou vloženy do drážky, ve které mají možnost posuvu. Po dotlačení na požadovanou pozici také přitlačeny na rám pomocí matice. Kolíky jsou určeny pro nesení ložiska.

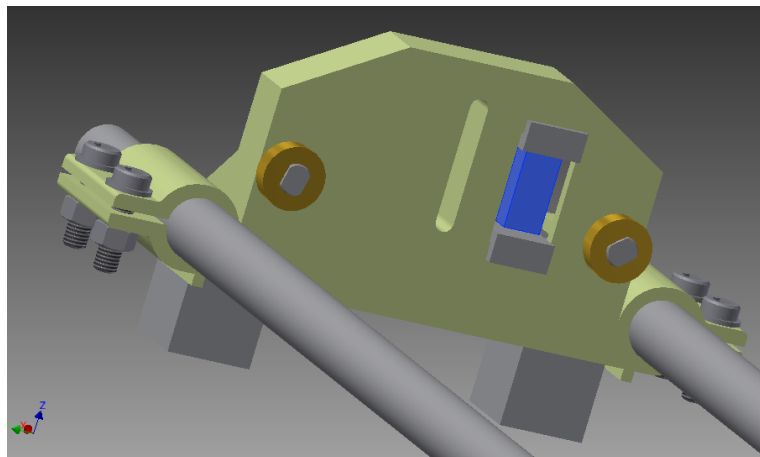


Obr. 19. Kolík pro ložisko

Nohy, Brzda

Ke spodní ploše rámu jsou přišroubovány nohy. Ke každému čelu 2 nohy. Každá noha drží na jednom šroubu a její poloha je vymezena dorazem na čele.

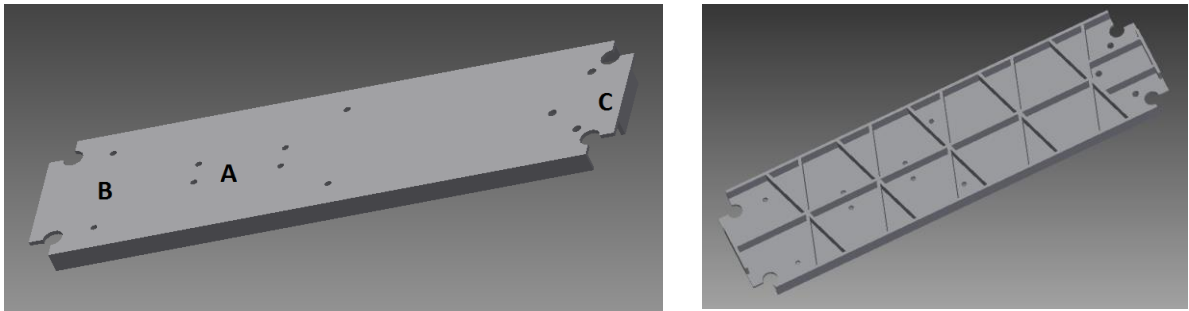
Brzda je umístěna v čele rámu v obdélníkovém otvoru. Má za úkol vytvořit dostatečně velké tření, aby udržela konstrukci ve vychýlené poloze. Velikost třecí síly můžeme měnit přítlačným šroubem. V případě potřeby mohou být umístěny na obou čelech a tím zvýšit brzdný účinek.



Obr. 20. Podsestava rámu-část

Tělo kolébky

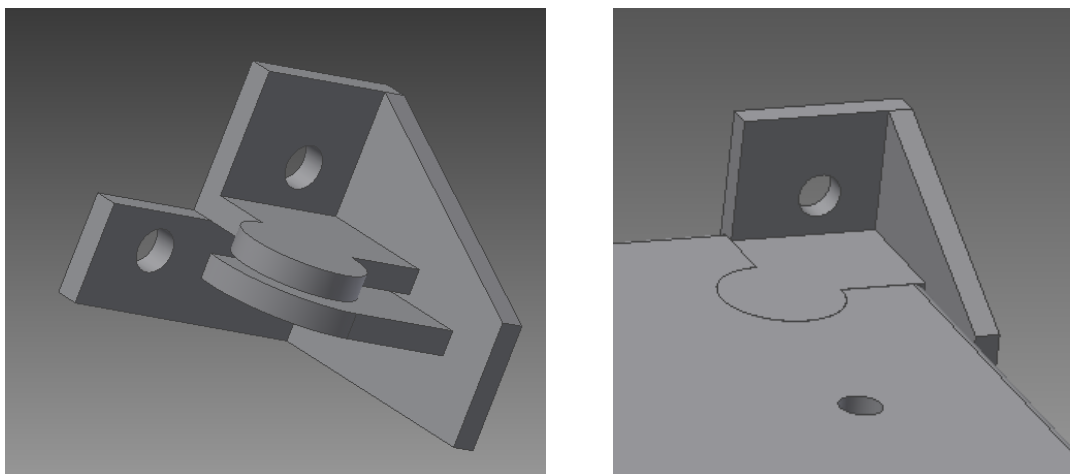
Je to základní část sestavy, která propojuje všechny komponenty. Ze spodní strany přidáno žebrování, pro zvýšení pevnosti a tuhosti. Je viditelné v pravé části obrázku 19. V rozích jsou umístěny kruhové otvory pro připevnění nosných rožků. Skupiny otvorů A-C slouží jako průchozí díry pro šrouby.



Obr. 21. Tělo kolébky

Nosné rožky

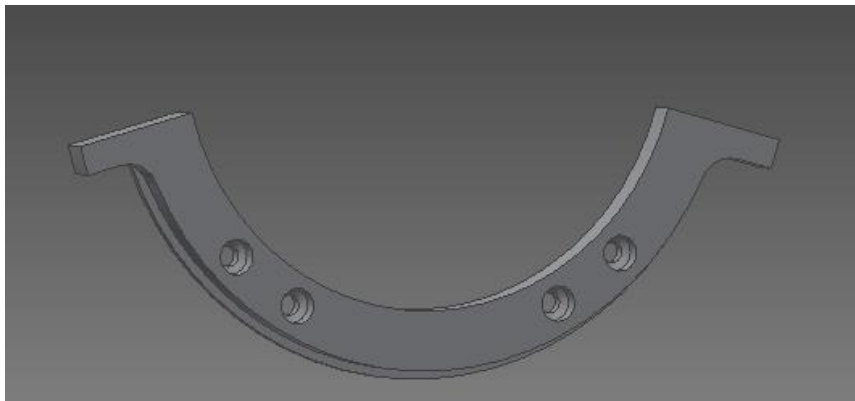
Z důvodu vyrobitelnosti technologií 3D tisku a úspory materiálu jsou k tělu kolébky přilepeny nosné rožky. Vzájemně na sebe nepůsobí jen pomocí lepidla, ale také pomocí tvarového styku, aby se zabránilo porušení vazby mezi součástmi. Rožky jsou vyrobeny ve 2 vyhotoveních „levý a pravý“.



Obr. 22. Nosný rožek, uchycení k tělu kolébky

Kolébka bok

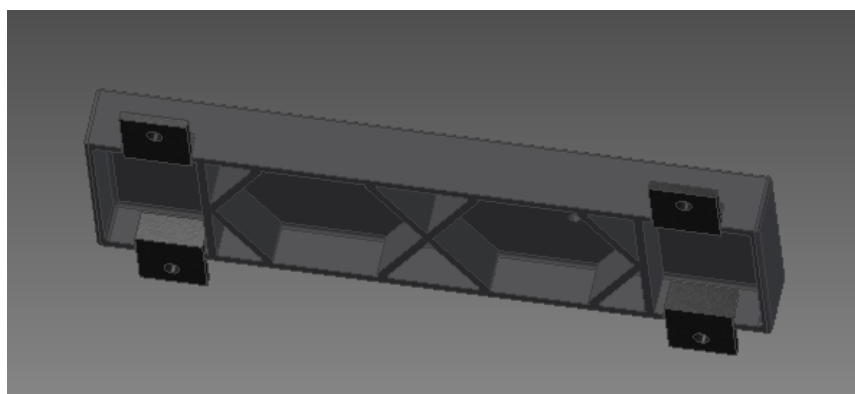
Tento prvek definuje kolébavý pohyb. K rožkům kolébky je připevněn pomocí 4 zapuštěných šroubů a je osazen lemem pro vymezení axiálního pohybu. Z důvodu možného překročení krajních mezí při vzájemném pohybu, jsou na prvku umístěny dorazy.



Obr. 23. Kolébka bok

Vložka pro kameru SC660

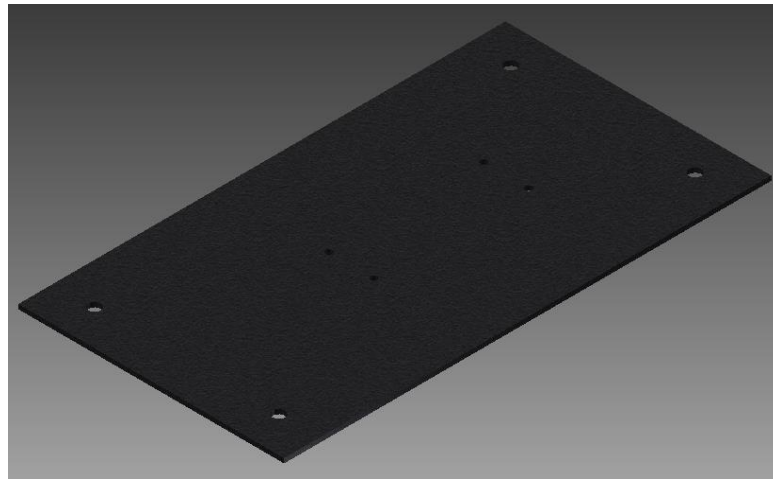
Vložka je opatřena 4 packami, přes které je připevněna k tělu kolébky (skupina otvorů B z obrázku 19). Vzájemně na sebe působí, opět pomocí lepidla i tvarovým stykem. Skrze 2 otvory na ploše podložky je připevněna kamera ke stojanu. Pro zvýšení tuhosti je vložka vyplněna žebry.



Obr. 24. vložka pro SC660

Vložka pro kameru SC6800

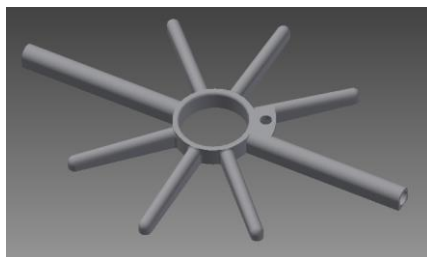
Skrze 4 otvory s menší roztečí je k vložce připevněna kamera šrouby s palcovým závitem. Hlavy těchto šroubů včetně podložek jsou zapuštěny do těla kolébky v otvorech označených A na obrázku 19. Skrze otvory s větší roztečí je potom zajištěna vzájemná poloha s tělem kolébky (skupina otvorů B z obrázku 19).



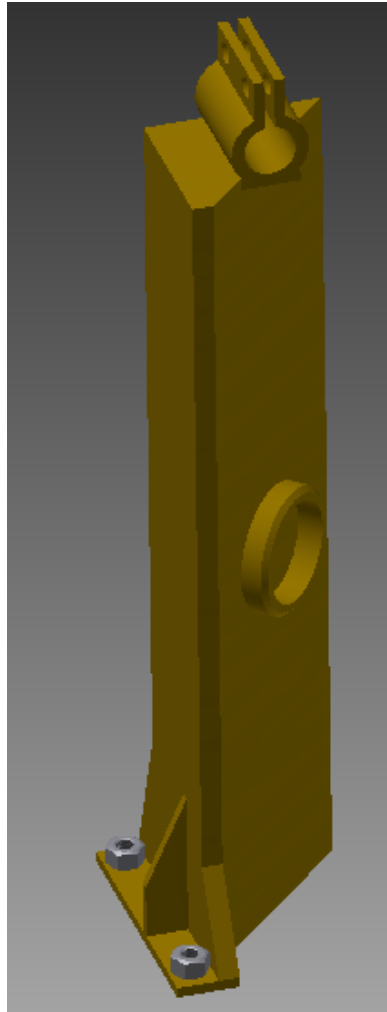
Obr. 25. Vložka pro kameru SC6800

Soustava zrcadel

Obě zrcadla jsou podlepena paprskovitou plochou pod zrcadlo viz. Obr. 24. vlevo. První zrcadlo je takto připevněno k držáku zrcadla (Obr. 25.). Ten zajišťuje souosost obou zrcadel a láme optickou osu pod úhlem 90° . Druhé zrcadlo je upevněno v rámu držáku zrcadla (Obr. 24. vpravo). Díky tomu může být nakloněno nejlépe pod úhlem 45° . Vzájemnou polohu mezi zrcadly vymezuje tenkostěnná trubka o vnějším průměru 21,5 mm.



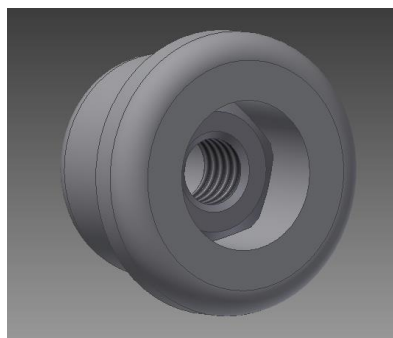
Obr. 26. Plocha pod zrcadlo, rám zrcadla



Obr. 27. Držák zrcadla

Ucpávka / protizávaží

Do tenkostěnné trubky je vlepena ucpávka. Do té pak vlepená matice. Do matice se zašroubuje šroub se řadou podložek. Na ty může být přidán magnet. Celá tato soustava slouží jako vyvážení k zrcadlu. Podložky nebo i šroub můžou být se soustavy vynechány.



Obr. 28. Ucpávka s maticí

Ložisko

Z důvodu ekonomického, velikosti zátěže a způsobu zatěžování, volím ložiska ABEC 5.

Tento typ ložisek se běžně využívá do kolečkových bruslí střední třídy. Je tedy cenově dostupnější a je konstruováno i pro zatížení vyššími otáčkami i vahou.

Zrcadlo

Křemíkové zrcadlo ploché o průměru 180 mm

4.3 Kontrola závitů

4.3.1 Kontrola na ohyb

pro jeden ze 6 kolíků o průměru 6 mm při zatížení 2 kg (váha kamery).



Obr. 29. zatížení na ohyb

$$F = m \cdot g$$

$$F = 2 \cdot 9,81 = 19,62 \text{ N}$$

$$M_o = F \cdot l$$

$$M_o = 19,62 \cdot 0,01 = 0,1962 \text{ Nm}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 0,1 \cdot d^3$$

$$W_o = 0,1 \cdot 0,006^3 = 2,16 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o}$$

$$\sigma = \frac{0,1962}{2,16 \cdot 10^{-8}} = 9\,083\,333 \text{ Pa}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma}{n}$$

$$\sigma = \frac{9\,083\,333}{6} = 1\,513\,888 \text{ Pa}$$

$$\sigma_D = 30\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$\sigma_s < \sigma_D$$

Zatížení jednoho kolíku je možné navýšit cca 20x.

F	síla	[N]
m	hmotnost	[kg]
g	gravitační zrychlení	[m/s ²]
Mo	ohybový moment	[Nm]
l	délka volného konce	[m]
Wo	průřezový modul v ohybu	[m ³]
d	průměr kolíku	[m]
σ	napětí	[Pa]
σ _s	napětí pro jeden kolík	[Pa]
σ _D	dovolené napětí	[Pa]

4.3.2 Kontrola závitu v tahu

M6x1 -> d₃=4,773 mm

$$\sigma_D = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{4F}{\pi \cdot d_3^2}$$

$$F = \frac{\pi \cdot d_3^2 \cdot \sigma_D}{4}$$

$$F = \frac{\pi \cdot 0,004773^2 \cdot 30\,000\,000}{4} = 536,77 \text{ N}$$

$$F = m \cdot g \rightarrow m = \frac{F}{g}$$

$$m = \frac{536,77}{9,81} = 54,7 \text{ kg}$$

-

Kolík z ABS se závitem M6 vydrží v tahu zatížení břemenem o hmotnosti 54,7 kg.

σ_D	dovolené napětí	[Pa]
S	plocha	[m ²]
d_3	střední průměr závitu	[m]
F	síla	[N]
m	hmotnost	[kg]
g	gravitační zrychlení	[m/s ²]

5 PARAMETRY

váha kamery 1,8 kg \approx 2 kg

mez pevnosti pro ABS 30-70 MPa

Tloušťka stěny všech dílů včetně žeber je 4 mm. Jen pro držák zrcadla 8 mm a pro podložku pod kameru SC6800 3,1 mm. Pro napětí tlakem či ohybem při zatížení kamerou o hmotnosti 2 kg je dostatečná. Tato podmínka je splněna pro celou konstrukci.

Největší rozměry stativu:

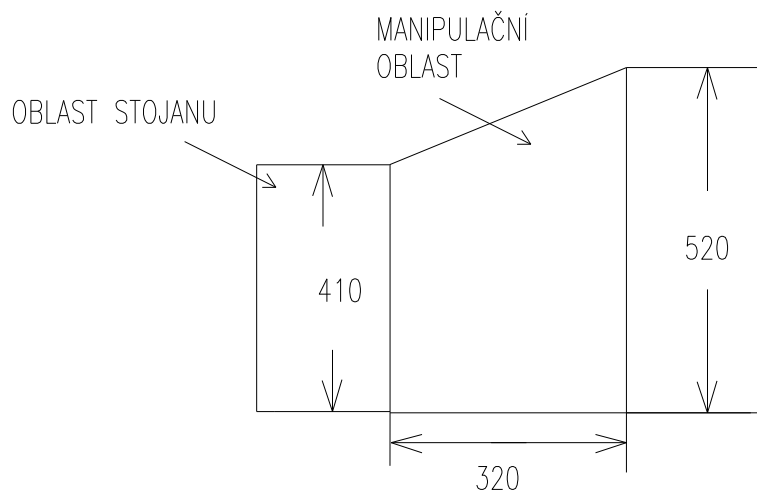
Výška: 740 mm

Šířka: 800 mm

Hloubka: 850 mm

Rozměr hloubky je nastavitelný. Je závislý na délce ramene zavěšeného zrcadla. To lze volit od minimální délky 250 mm. Výška stojanu v nulové poloze je 462 mm.

Maximální úhel náklonu kolébky je 35° na každou stranu. Tím vznikne nad pracovním prostorem manipulační prostor viz. Obr. 27.



Obr. 30. Maximální náklon stojanu

ZÁVĚR

Teoretická část této práce je zaměřena na objasnění pojmů týkajících se termodynamických zákonů, tepelného záření, odrazu a lomu světla a specifikací termokamer. Tyto zákonitosti jsou poté zohledněny v praktické části této práce při výběru samotného konstrukčního řešení.

Výběr proběhl z několika variant a nejvhodnější dále zpracována. Kolíbkový mechanismus jsem vybral pro lehkou manipulaci a možnost výroby dílů pomocí 3D tiskárny.

Při nulovém náklonu, tedy v pracovní poloze, má stojan optickou osu kamery i mezi zrcadly rovnoběžně s rovinou pracovního stolu a ve výšce 175,5 mm. Pro zvětšení manipulačního prostoru máme možnost mechanismus naklonit o 35°. Pro zajištění setrvání stojanu v nakloněné poloze, je využita brzda. Ta je umístěna na čele rámu a její funkce je založena na tření s bokem kolébky. V případě potřeby může být použita na obou čelech a tím zdvojnásobit svou účinnost. Přítlak brzdy zajišťuje šroub s vnitřním šestihranem. Z důvodu zjednodušení práce se stojanem doporučuji nechávat šestihranný klíč stále v hlavě šroubu.

Pro zvýšení tuhosti jsou zrcadla umístěna na paprscích držáku zrcadel. Poloha zrcadel vůči sobě může být měněna díky uložení přes svěrný spoj. Měnit lze vzdálenost i vzájemné natočení.

Součástí práce je i 3D model soustavy pro kameru SC 660 i pro kameru SC6800 včetně jednotlivých dílů. Stejně jako výkresy jednotlivých součástí. Vše je umístěno na přiloženém CD.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Mgr. Petr Brabe, Filip Bartůněk: molekulová fyzika a termika. [online]
<http://www.fyzika007.cz/molekulova-fyzika-a-termika>
- [2] Mgr. Petr Brabe, Filip Bartůněk: optika. [online]
<http://www.fyzika007.cz/optika>
- [3] Termokamera.cz: princip a funkce. [online]
<http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/>
- [4] Bc. Tomáš Frňka: bezdotykové měření povrchových teplot ve strojírenství [online]
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17235
- [5] Jaroslav Reichl, Martin Všetická: encyklopedie fyziky [online]
<http://fyzika.jreichl.com/>
- [6] Ilona Ali Bláhová: 30.pdf [online]
<http://aldebaran.cz/~blahova/F1KME/30.pdf>
- [7] K. Rusňák: Teplo, práce a 1. věta termodynamiky [online]
<http://www.kfy.zcu.cz/dokumenty/FYI1/teplo.pr.1.veta.pdf>
- [8] Doc. Ing Milan Pavelek: vizualizační a optické zobrazovací metody [online]
<http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/optika/>
- [9] Martin Truhlář: Konstrukce pro určování relativní tepelné emisivity, Zlín 2015
- [10] Horák, Krupka, Šindelář: Technická fyzika, státní nakladatelství technické literatury, Praha 1961

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Q	teplo
c	měrná tepelná kapacita
m	hmotnost tělesa
t_2	původní teplota
t_1	konečná teplota
ΔU	přírůstek vnitřní energie soustavy
W	součet práce vykonané okolními tělesy
S	přírůstek entropie ($S \geq 0$)
T	teplota systému
I	celková intenzita záření
ε	emisivita
σ	Stefan-Boltzmannova konstanta ($6.6760400 \cdot 10^{-8}$)
T	termodynamická teplota
λ_{\max}	maximální vlnová délka
b	Wienova konstanta
T	teplota povrchu tělesa
E	energie kvanta záření
h	Planckova konstanta
f	frekvence záření
c	rychlost světla ve vakuu
λ	vlnová délka
α'	úhel odrazu
α	úhel dopadu
C	střed křivosti
F	ohnisko
r	poloměr křivosti
V	vrchol zrcadla
n	index lomu světla ($1 < n$)
c	rychlost světla ve vakuu
v	rychlost světla daného prostředí
α	úhel dopadu

β	úhel lomu
n_1	index lomu světla v prostředí ze kterého dopadá
n_2	index lomu světla v prostředí kterým pokračuje
C_1, C_2	středů optických ploch
r_1, r_2	poloměry křivosti optických ploch
V_1, V_2	vrcholy čočky
O	optický střed čočky
F, F'	ohnisko
a	rozměr vložky pod kamerou
b	výška optické osy kamery
c	rozměr umístění těla kolébky
F	síla
m	hmotnost
g	gravitační zrychlení
M_o	ohybový moment
l	délka volného konce
W_o	průřezový modul v ohybu
d	průměr kolíku
σ	napětí
σ_s	napětí pro jeden klolík
σ_D	dovolené napětí
S	plocha
d_3	střední průměr závitu

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1. ODRAZ SVĚTLA	16
OBR. 2. ZRCADLO	18
OBR. 3. KONKÁVNÍ ZRCADLO	18
OBR. 4. KONKÁVNÍ ZRCADLO	18
OBR. 5. SCHÉMA ČOČEK	19
OBR. 6. PRINCIP ČOČEK – LOM Z/DO OHNISKA.....	21
OBR. 7. SCHÉMA ČOČEK	21
OBR. 8. SC 6800	25
OBR. 9. SC 660	26
OBR. 10. KAMERA NAD OBJEKTEM	28
OBR. 11. DIAGONÁLNĚ NAD	29
OBR. 12. POUŽITÍ ZRCADEL.....	29
OBR. 13. KOLÉBKOVÉ ŘEŠENÍ.....	30
OBR. 14. SCHÉMA RÁDIUSŮ KOLÉBKY A ROZMĚRŮ V OSE Y.....	31
OBR. 15. CELKOVÝ POHLED – NULOVÁ POLOHA.....	32
OBR. 16. BOČNÍ POHLED V MAXIMÁLNÍ POLOZE.....	32
OBR. 17. CELKOVÝ POHLED – NULOVÁ POLOHA SC6800.....	33
OBR. 18. ČELO RÁMU	33
OBR. 19. KOLÍK PRO LOŽISKO	34
OBR. 20. PODSESTAVA RÁMU-ČÁST.....	34
OBR. 21. TĚLO KOLÉBKY	35
OBR. 22. NOSNÝ ROŽEK, UCHYCENÍ K TĚLU KOLÉBKY.....	35
OBR. 23. KOLÉBKA BOK.....	36
OBR. 24. VLOŽKA PRO SC660	36
OBR. 25. VLOŽKA PRO KAMERU SC6800.....	37
OBR. 26. PLOCHA POD ZRCADLO, RÁM ZRCADLA.....	37
OBR. 27. DRŽÁK ZRCADLA.....	38
OBR. 28. UCPÁVKA S MATICÍ MAXIMÁLNÍ NÁKLON STOJANU.....	38
OBR. 29. ZATÍŽENÍ NA OHYB	39
OBR. 30. MAXIMÁLNÍ NÁKLON STOJANU	42

SEZNAM PŘÍLOH

- příloha 1 - výkres součásti- RÁM
- příloha 2 - výkres součásti- TĚLO KOLÉBKY
- příloha 3 - výkres součásti- LOM OBRAZU
- příloha 4 - výkres součásti- VLOŽKA POD 660
- příloha 5 - výkres součásti- VLOŽKA POD 6800
- příloha 6 - výkres součásti- ROŽEK 1
- příloha 7 - výkres součásti- ROŽEK 2
- příloha 8 - výkres součásti- PACKA PODLOŽKY
- příloha 9 - výkres součásti- KOLÉBKA BOK
- příloha 10 - výkres součásti- PLOCHA POD ZRCADLO
- příloha 11 - výkres součásti- BRZDA
- příloha 12 - výkres součásti- BRZDA 2
- příloha 13 - výkres součásti- DRŽÁK ZRCADLA
- příloha 14 - výkres součásti- NOHA
- příloha 15 - výkres součásti- ZÁSLEPKA
- příloha 16 - výkres součásti- VLOŽKA K LOŽISKU
- příloha 17 - výkres součásti- KOLÍK
- příloha 18 - výkres součásti- KOLÍK PRO LOŽISKO
- příloha 19 - CD