



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KOMPAKTNÍ PRODUKTOVÝ FOTOATELIÉR

COMPACT PRODUCT PHOTOGRAPHY STUDIO

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

RADIM ROSICKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN JONÁK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radim Rosický

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

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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 bakalářské práce:

Kompaktní produktový fotoateliér

v anglickém jazyce:

Compace product photography studio

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte konstrukční řešení rotační dvouosé soustavy pro fotografickou digitalizaci předmětu dle daných parametrů:

maximální rozměr základny předmětu 400 mm,

maximální hmotnost předmětu 4 kg.

Cíle bakalářské práce:

Vypracujte technickou zprávu s rešerší o dostupných zařízeních k digitalizaci předmětů, s vhodnými pevnostními výpočty, s výběrem a s předpoklady dimenzování pohonů. Nakreslete konstrukční výkres sestavy zařízení a důležité detaily dle dohody s vedoucím práce.

Seznam odborné literatury:

1. Shigley J.E., Mischke Ch.R., Budynas R.G.: Konstruování strojních součástí. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
2. Julina M., Venclík V.: Mechanika dynamika pro školu a praxi. Scientia s.r.o. Praha. 2001. ISBN 80-7183-238-9.
3. Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004.
4. Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno 2003.
5. Janíček P., Ondráček E., Vrbka J.: Pružnost a pevnost, VUT Brno, 1992.
6. Kolář, D. a kol.: Části a mechanismy strojů.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Jonák

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 26.11.2014

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na konstrukční řešení kompaktního produktového fotoateliéru. První část práce se zabývá rešerší existujících zařízení. Druhá část je zaměřena na konstrukci kompaktního produktového fotoateliéru, zdůvodnění volby parametrů, konstrukční návrh a vybrání nejlepšího návrhu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kompaktní produktový fotoateliér, rotační deska, robotické rameno.

ABSTRACT

Bachelor thesis is focused on the structural design of a compact product photography studio. The first part of the bachelor thesis deals with the searching of existing facilities. The second part focuses on construction of a compact product photography studio, the justification for choice of parameters, construction proposal and choosing the best proposal.

KEYWORDS

Compact product photography studio, rotary plate, robotic arm.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Rosický, R. *Kompaktní produktový fotoateliér*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 57 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Jonák.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martin Jonák a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 29. května 2015

.....

Radim Rosický



PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Jonákovi za profesionální vedení, vstřícnost a odborné rady při tvorbě této práce.



OBSAH

Úvod	9
1 Produktové fotoateliéry	11
1.1 S jedním fotoaparátem	12
1.1.1 Fotostanice	12
1.1.2 Kompaktní produktové fotoateliéry	16
1.2 S více fotoaparáty	17
1.2.1 Kruhové fotoateliéry	17
1.2.2 Fotostanice	18
2 Konstrukce kompaktního fotoateliéru	19
2.1 Zvolení těla fotoaparátu a objektivu	20
2.2 Zvolení velikosti rotační desky	21
2.3 Zvolení vzdálenosti objektivu od produktu	21
2.4 Konstrukce rotační desky	23
2.4.1 Uložení rotační desky	23
2.5 Zvolené uložení rotační desky	25
2.5.1 Způsob zajištění řádného uložení a vedení rotační desky	26
2.5.2 Jednotlivé prvky uložení	34
2.6 Uložení ramene fotoaparátu	36
2.7 Uložení fotoaparátu	37
2.8 Konstrukce rámu	39
3 Pohon kompaktního fotoateliéru	40
3.1 Volba motoru pro pohon rotační desky	40
3.2 Volba motoru pro pohon ramene fotoaparátu	45
Závěr	48
Seznam použitých zkratk a symbolů	54
Seznam příloh	57



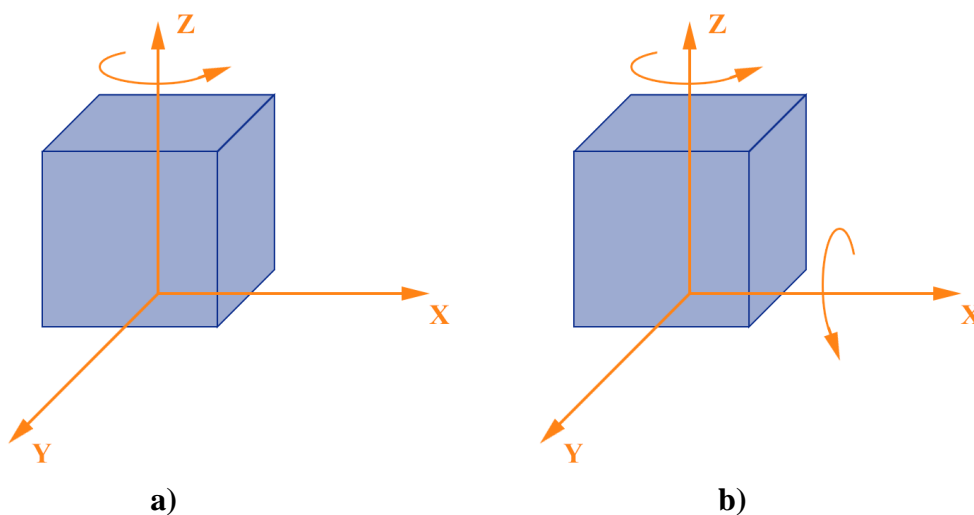
ÚVOD

Kompaktní produktový fotoateliér se využívá k digitalizaci reálných produktů. Díky jeho aplikaci lze získat 3D model produktu s možností otáčení produktu v několika osách. Podobně jako u 3D modelu známého z CAD software - například Inventor či Solidworks. Získaný 3D model podporuje vizualizační představu o produktu a dovoluje lepší pochopení jeho vlastností. Využívá se k prezentaci vlastností produktu a podporuje prodej produktu přes internet [49].

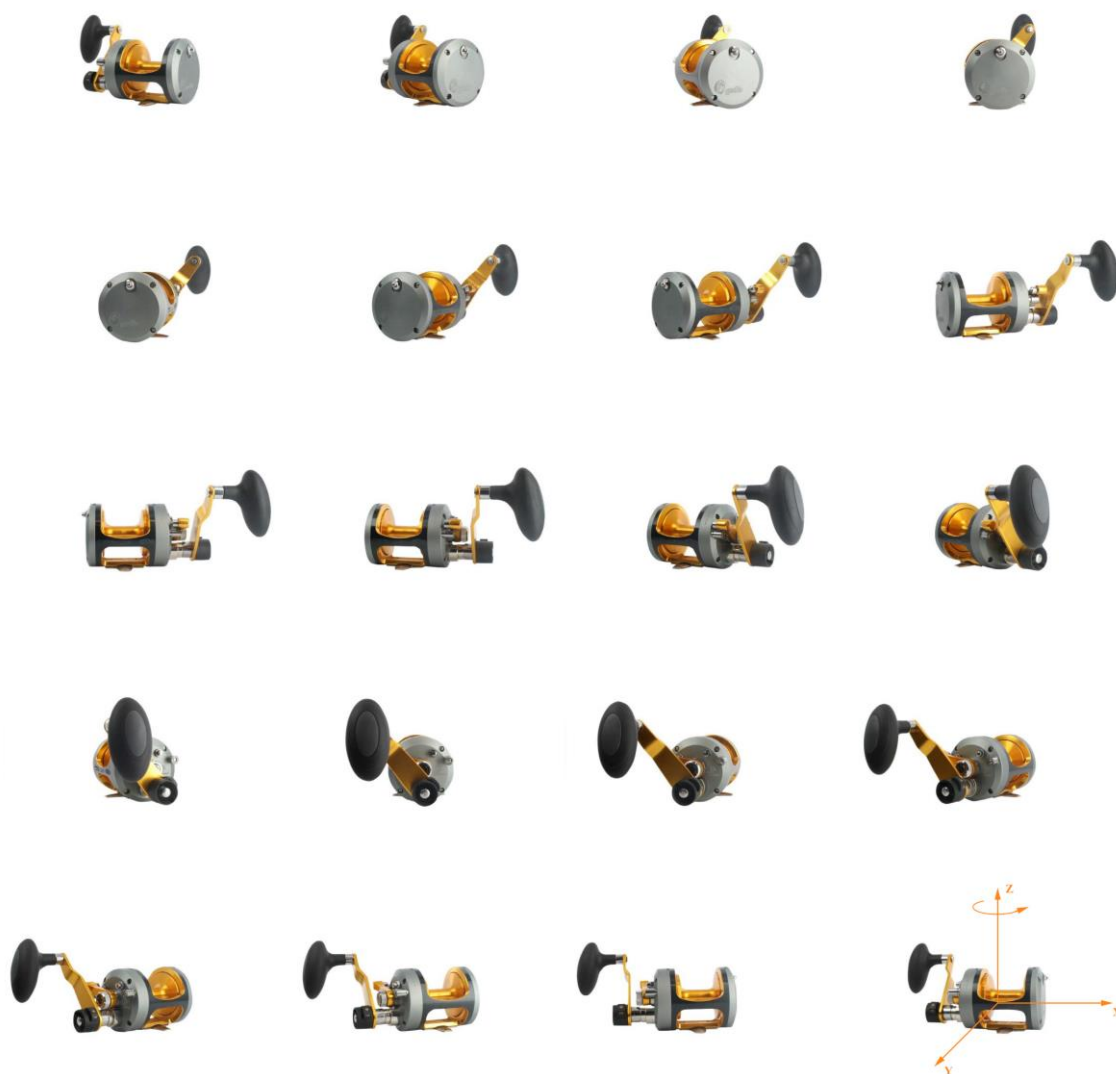
Virtuální 3D model se vytváří ze série snímků produktu, které se pořizují z přesně definovaných úhlů tak, aby při jejich kompletaci byla vytvořena sféra. Při změně úhlu natočení 3D modelu je vybrán s pomocí vhodného softwaru [40] snímek, který odpovídá požadovanému úhlu natočení. S rostoucím počtem snímků produktu se zlepšuje plynulost při natáčení produktu, podobně jako s rostoucím počtem snímků kamery se zvyšuje plynulost videa. Na Obr. 2 je zobrazený příklad vytvoření 3D modelu s rotací kolem osy Z. Snímky jsou vytvářeny po 18° . Celkem je vytvořeno 20 snímků.

V základním provedení [3] produkt rotuje kolem osy Z o 360° viz Obr. 1a) a fotoaparát vytváří fotografie ve shodných úhlových intervalech. Například vždy po 10° otočení produktu. Tím je vytvořeno 36 fotografií.

U sofistikovanějších zařízení [41] se k rotaci produktu přidává i rotace fotoaparátu kolem osy X viz Obr. 1b). Při otočení rotační desky o 360° se přidá rotace fotoaparátu o shodný úhlový interval nejčastěji v rozsahu $\langle 0^\circ; 90^\circ \rangle$. Tím je dosažena vizualizace produktu v ose Z $\langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$ a v ose X $\langle 0^\circ; 180^\circ \rangle$ viz Obr. 1b).



Obr. 1 Souřadný systém:
a) rotace kolem osy Z,
b) rotace kolem osy Z a X

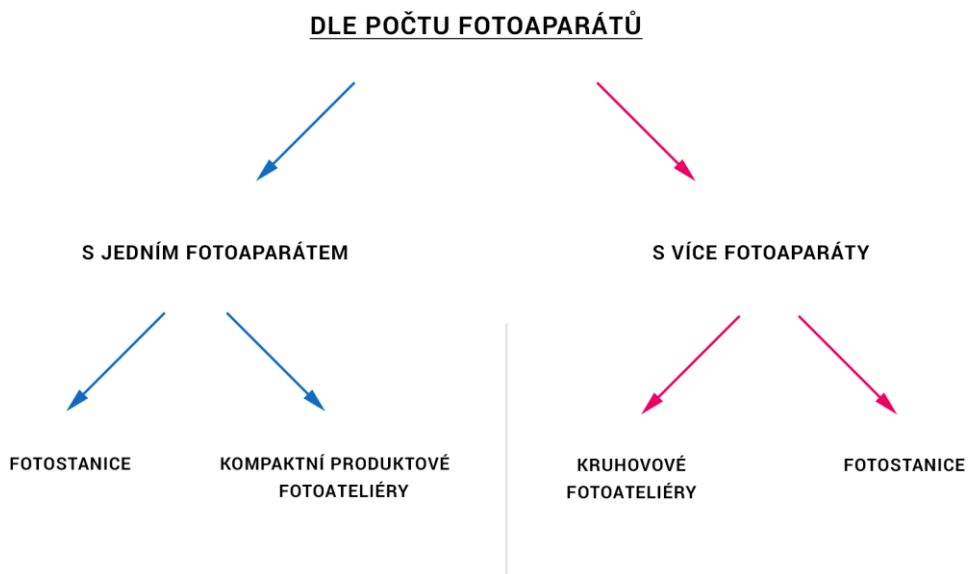


Obr. 2 Příklad vytvoření 3D modelu rybářského navijáku z 20 snímků [21]



1 PRODUKTOVÉ FOTOATELIÉRY

V současné době je možné na trhu nalézt několik druhů produktových fotoateliérů. Druhy se liší zejména maximálními rozměry a maximální hmotností snímaného produktu, druhem pohonu, počtem snímacích fotoaparátů, konstrukcí a rozsahem úhlu záběru. Produktové fotoateliéry se rozdělují do dvou hlavních skupin, a to na produktové fotoateliéry s jedním fotoaparátem a produktové fotoateliéry s více fotoaparáty.



Obr. 3 Rozdělení produktových fotoateliérů dle počtu fotoaparátů



1.1 S JEDNÍM FOTOAPARÁTEM

Produktové fotoateliéry s jedním fotoaparátem Obr. 4 jsou díky mnoha výhodám nejrozšířenější oproti fotoateliérům s více fotoaparáty [50]. Zásadní výhodou je možnost snímat produkt z více úhlu pouze jedním fotoaparátem, čímž klesá pořizovací cena produktového fotoateliéru. Další výhodou jednoho fotoaparátu, je úspora času, která by vznikla časovou prodlevou při manuálním nastavení parametrů na každém fotoaparátu.



Obr. 4 Příklad kompaktního produktového fotoateliéru s jedním fotoaparátem [11]

1.1.1 FOTOSTANICE

Fotostanice je tvořena dvěma oddělenými celky, čímž se liší od kompaktního produktového fotoateliéru, který tvoří jeden pevný celek bez možnosti modifikace sestavy. První částí fotostanice je rotační základna, na kterou je umístěn produkt. Druhou částí je externě umístěný fotoaparát na stativu, nebo na robotickém mechanismu. Výhodnost sestavy spočívá v možnosti jednoduché modifikace sestavy pro různé rozměry, tvary a hmotnosti snímaného produktu. Celky sestavy lze vzájemně zaměnit, například k robotickému rameni, lze použít rotační desku pro produkty se stabilní podstavou nebo závěsnou rotační kostku pro zavěšené produkty. Nevýhoda spočívá ve vyšší náročnosti na sestavení a obsluhu zařízení. Přesnost snímání produktu je závislá na přesnosti nastavení zařízení obsluhou.



Obr. 5 Rotační základní deska s externě umístěným fotoaparátem [19],[62]



ROTAČNÍ DESKA

Používá se pro základní produktové focení [43]. Jedná se o jednoduché zařízení, které je v současné době nejrozšířenější a nejpoužívanější [49]. Existuje několik typů rotačních desek, které se liší zejména konstrukcí, maximálními rozměry a hmotností snímaného produktu, od drobných předmětů Obr. 7a) až po SUV automobily Obr. 7b).



Obr. 6 Příklad provedení (Orbitvu Kit MINI) [39]

Průměr rotační desky se pohybuje od 200 mm do 5000 mm. Při největším průměru má rotační deska nosnost až 4000 kg. K některým typům rotační desky lze připevnit speciální přípravky, které pomohou zafixovat produkt na přesně danou pozici. Takovým speciálním přípravkem může být stojan na plastovou figurínu, který je využíván k produktovému focení oděvů [49].



Obr. 7 Rotační deska: a) pro malé produkty [37], b) pro maximální rozměry produktu [12]

Pro podstavu rotační desky jsou používány tyto materiály: plast, dřevo, hliník, sklo [38]. Rotační desky lze u některých typů zaměnit. Odlišné typy materiálů jsou používány pro dosažení požadovaných efektů při focení. Například při použití skleněného materiálu a správného osvětlení je takovým efektem odraz produktu na rotační desce. Odraz či stín produktu lze dále upravit dle typu skla.

Rotační deska je nejčastěji kruhového tvaru, v některých případech lze použít i tvar hvězdice [28]. Hvězdice je používána především u produktů, které mají nestabilní tvar



podstavy s rizikem překlopení produktu. K hvězdici lze přivázat nebo jiným způsobem připevnit produkt tak, aby byl fixní a stabilní.

ZÁVĚSNÁ ROTAČNÍ KOSTKA

Používá se pro focení zavěšených produktů s rotací jen kolem osy Z v rozsahu $\langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$ viz Obr. 8 a Obr. 9. Závěsná deska je navržena tak, aby bylo možné k ní připevnit různé přípravky, které slouží k ideálnímu upevnění snímaného produktu. V současné době tento typ vyrábí pouze jedna společnost PhotoRobot [18]. Maximální nosnost je 130 kg. Závěsnou rotační kostku lze kombinovat s rotační deskou a rotace lze vzájemně synchronizovat.



Obr. 8 Závěsná rotační kostka [17]

Používá se k focení lustrů, oblečení na PVC figurínách, jízdních kol a různých druhů nářadí.



a)



b)

Obr. 9 Závěsná rotační deska
a) pro malé produkty [16],
b) pro maximální rozměry produktů [48]



STATIV S FOTOAPARÁTEM

Základní a nejjednodušší kombinace rotační základny s externě umístěným fotoaparátem. Mezi výhody je řazena jednoduchost sestavení a nízká pořizovací cena. Mezi nevýhody komplikované manuální nastavení přesné pozice fotoaparátu a následná změna při nastavení jiné pozice fotoaparátu. Je zcela nevhodný pro výškovou a úhlovou změnu pozice v průběhu focení a přesnost snímaného produktu je závislá na přesnosti nastavení fotostanice obsluhou. Tento typ je vhodný pro focení kusových produktů nenáročných na přesnost, s rotací produktu pouze kolem osy Z v rozsahu $\langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$ viz Obr. 10.



Obr. 10 Stativ s fotoaparátem Nikon [35]

ROBOTICKÉ RAMENO

Pomocí robotického ramene je umožněno výškové a úhlové nastavení tak, že jsou získány fotografie produktu ze všech potřebných úhlů. Umožňuje vytvářet 3D model, kterým lze rotovat kolem osy Z v rozsahu $\langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$ a kolem osy X v rozsahu $\langle 0^\circ; 180^\circ \rangle$ viz Obr. 1b). Výhoda robotického ramene spočívá v možnosti širokého nastavení úhlů pro záběr fotoaparátu s velkou přesností. Elektronicky nastavitelné rameno umožňuje dosažení velké přesnosti i u velkých produktů. Maximální délka vysunutého ramene jsou 4 m [51].

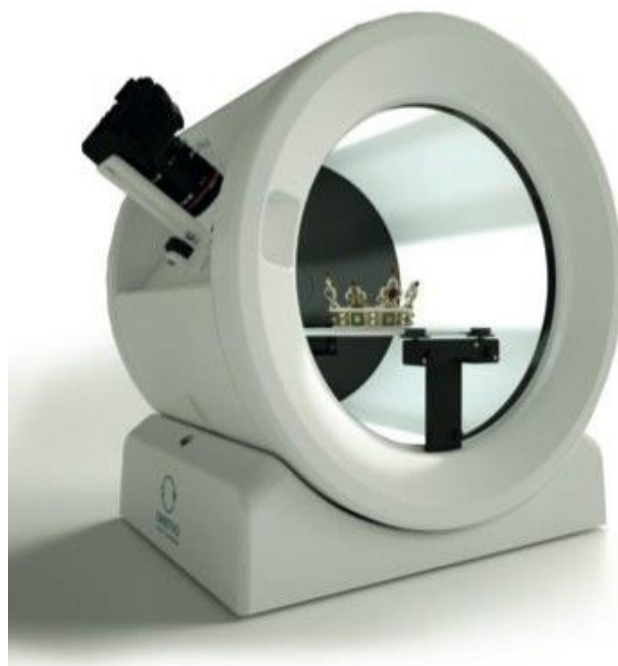


Obr. 11 Robotické rameno výrobce XYimager [61]



1.1.2 KOMPAKTNÍ PRODUKTOVÉ FOTOATELIÉRY

Existuje řada konstrukčních řešení pro kompaktní produktové fotoateliéry. Společným prvkem je integrace obou základních částí, rotační desky a fotoaparátu na stojanu nebo otočném mechanismu. Díky této integraci je dosaženo vyšší přesnosti a jsou eliminovány chyby způsobené obsluhou zařízení.



*Obr. 12 Kompaktní produktový fotoateliér
výrobce Orbitvu - Alphashot micro [10]*

Kompaktní produktové fotoateliéry jsou poskytovány výrobcem v několika verzích [9]. Někteří výrobci upřednostňují zakrytovanou verzi včetně vestavěného osvětlení a dbají na minimální celkovou hmotnost stroje. Jiní poskytují zcela otevřenou verzi s externím osvětlením, vyšší celkovou hmotností zařízení a zároveň je kombinují s pracovním stolem a prostorem pro uskladnění produktů.

Maximální rozsah focených produktů je od několika milimetrů po desítky centimetrů. Maximální hmotnost zatížení je u některých zařízení až do hodnoty 200 kg. Tento typ je uživatelsky přívětivý pro obsluhu. Zařízení je plně automatické a veškerý pohyb je řízen elektromotory [42]. Produkt je pouze umístěn na přesně vyznačené místo obsluhou, případně jsou nastaveny parametry fotoaparátu.

Nevýhoda spočívá v případné nemožné modifikaci zařízení pro snímání produktů, o velikostech, tvarech nebo hmotnostech, pro které není navržen. Kompaktní produktový fotoateliér není možné skládat dle aktuálních potřeb, jako tomu je u některých typů fotostanic s externě umístěným fotoaparátem [13].



1.2 S VÍCE FOTOAPARÁTY

Produktové fotoateliéry s více fotoaparáty jsou používány především tam, kde se vytváří aktuální 3D model s co nejmenší časovou prodlevou, tedy v případech, kdy není dostatek času k pořízení 3D modelu za pomoci jednoho fotoaparátu. Nevýhodou produktového fotoateliéru s více fotoaparáty je rostoucí pořizovací cena s nárůstem počtu fotoaparátů. S nárůstem počtu fotoaparátů roste i časová prodleva potřebná k manuálnímu nastavení všech fotoaparátů.



Obr. 13 Příklad fotostanice s více fotoaparáty [31]

1.2.1 KRUHOVÉ FOTOATELIÉRY

Zde je po obvodu konstrukce rozmístěno několik fotoaparátů ve shodných úhlových intervalech [26]. Kruhový fotoateliér je používán pro vytvoření 3D modelu, především živých objektů. 3D model je vytvořen ze série snímků pořízených ve shodných úhlových intervalech, které jsou vytvořeny v jednom momentu. Například při zachycení osoby ve výskoku do vzduchu nebo vrtící se dítě v autosedačce. Tato výhoda kruhového fotoateliéru s více fotoaparáty je zcela zásadní. Žádnou jinou fotostanicí nelze v daný moment pořídit požadovaný počet snímků z daných úhlů.

Kruhová fotostanice lze využít také pro speciální 3D efekty. Takovým efektem může být například prostorová rotace kolem akčních hrdinů [25].



Obr. 14 Fotostanice kruhová [27]



1.2.2 FOTOSTANICE

Stejně tak jako u fotostanice s jedním fotoaparátem, tak fotostanice s více fotoaparáty je tvořena dvěma oddělenými celky. První částí fotostanice je rotační základna, na kterou je umístěn produkt. Druhou částí jsou externě umístěný fotoaparáty na stojanu. V současné době fotostanice s více fotoaparáty vyrábí pouze dvě firmy, Photorobot s modelem Multicam [32] a Ortery s modely 3D MultiArm [45]. U těchto modelů je produkt snímán z rozdílných úhlů několika fotoaparáty. Díky tomu je ve stejnou chvíli pořízeno několik snímků. Tím je dosaženo vyšší produktivity. Tento typ je vhodné použít pro vytváření 3D modelů v řádů desítek za den.

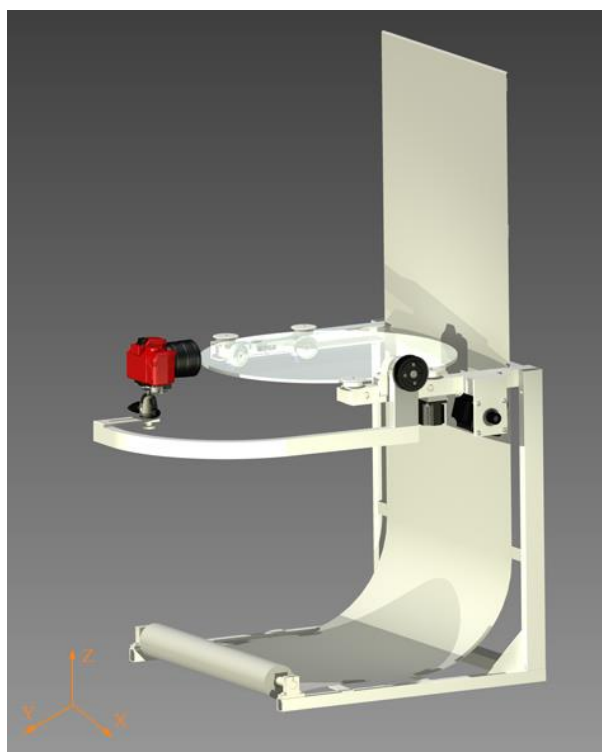


Obr. 15 Fotostanice s více fotoaparáty [6]



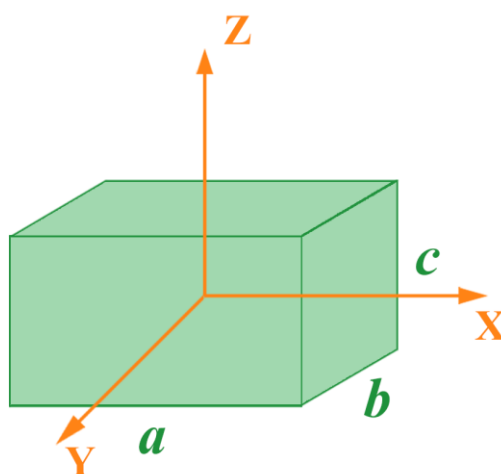
2 KONSTRUKCE KOMPAKTNÍHO FOTOATELIÉRU

Kompaktní produktový fotoateliér je navržen tak, aby jeho pořizovací cena byla dostupná širší veřejnosti, nejen velkým fotografickým studiím. Konstrukce je přizpůsobena spíše kusové výrobě.



Obr. 16 Návrh konstrukce kompaktního produktového fotoateliéru

Kompaktní produktový fotoateliér bude navržen pro snímání produktu o maximálních rozměrech: $a = b = 400$ mm, $c = 180$ mm s maximální hmotností 5 kg s rozsahem snímání produktu v ose Z $\langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$ a v ose X $\langle -90^\circ; 90^\circ \rangle$ viz Obr. 17



Obr. 17 Maximální rozměry snímaného produktu



2.1 ZVOLENÍ TĚLA FOTOAPARÁTU A OBJEKTIVU

S ohledem na cenu a dostupnost fotoaparátů je kompaktní produktový fotoateliér navržen pro fotoaparát Nikon D3100 (Obr. 18a). Tento fotoaparát je jeden z nejprodávanějších modelů od firmy Nikon [53]. Fotoaparát je opatřený objektivem Nikon 18-55mm f/3,5-5,6G II AF-S DX (Obr. 18b), který je standardně dodáván s tělem fotoaparátu Nikon D3100 [33]. Konstrukce je přizpůsobena tak, aby v případě potřeby bylo možné fotoaparát zaměnit za jiný běžně používaný typ fotoaparátu, například Nikon D90.



Obr. 18 Set fotoaparátu:
 a) Tělo fotoaparátu Nikon D3100 [34],
 b) Objektiv Nikon 18-55mm f/3,5-5,6 G II AF-S DX [36]

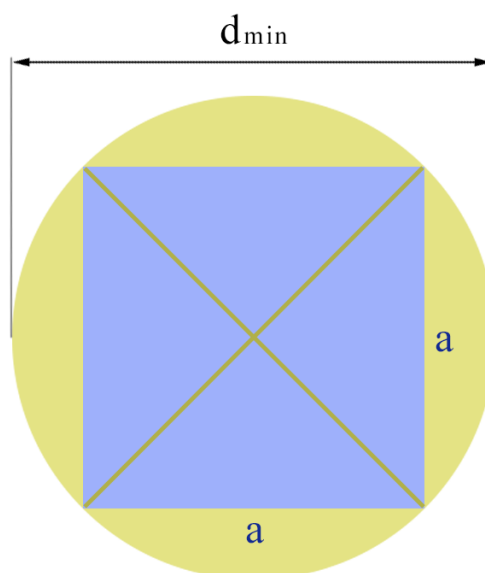
Tab. 1 Parametry udávané výrobcem fotoaparátu Nikon D3100

Základní parametry		Fyzikální specifikace a záznam	
Typ fotoaparátu:	Digitální zrcadlovka (DSLR)	Materiál těla:	Plast
Rozlišení:	14,2 Mpx	Hmotnost:	455 g
Rychlost sériového snímání:	3 sn./s	Rozměry v mm:	124 x 96 x 75
Formát snímače:	APS-C	Typ paměťového media:	SD / SDHC / SDXC
Poměr stran snímače:	3:2	Formáty souborů:	JPEG, MPEG-4, RAW



2.2 ZVOLENÍ VELIKOSTI ROTAČNÍ DESKY

Na základě maximálních rozměrů snímaného produktu je vypočten minimální průměr rotační desky.



Obr. 19 Minimální průměr rotační desky

$$d_{min} = \sqrt{(a)^2 + (a)^2} \quad (1)$$

$$d_{min} = \sqrt{(400)^2 + (400)^2}$$

$$d_{min} = 565,685 \text{ mm}$$

kde:

a [mm] nejdelší strana produktu, viz zadání



d_{min} [mm] minimální průměr rotační desky

S ohledem na nabídku rotačních desek je zvolena skleněná rotační deska o průměru 600 mm a o tloušťce 8 mm [55].

2.3 ZVOLENÍ VZDÁLENOSTI OBJEKTIVU OD PRODUKTU

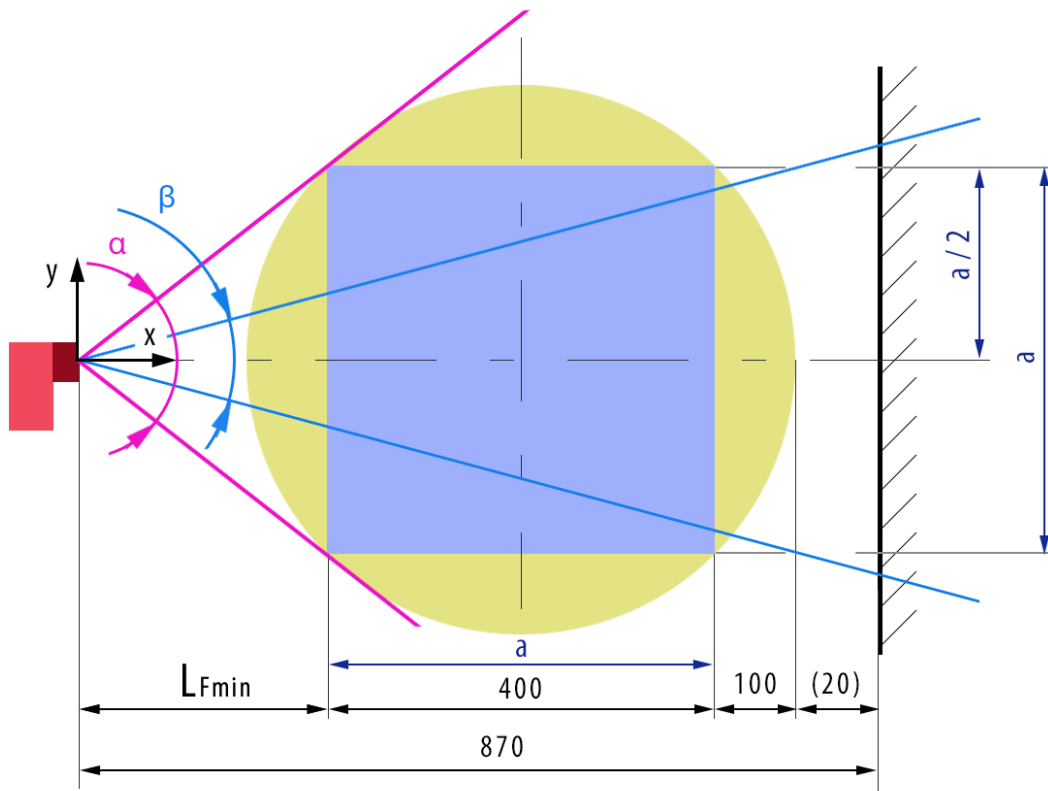
Pomocí online nástroje [52] je zjištěn maximální a minimální úhel záběru pro objektiv Nikon 18-55mm f/3,5-5,6G II AF-S DX.



Zadejte název objektivu Nikon 18-55mm f/3,5-5,6 G II AF-S DX če		Vyberte fotoaparát Nikon D3100 tělo	
	Nikon 18-55mm f/3,5-5,6 G II AF-S DX černý	+	 Nikon D3100 tělo
Crop faktor fotoaparátu:	1,5	Typ objektivu:	zoom
Skutečná ohnisková vzdálenost:	18 - 55 mm	Diagonální úhel záběru:	77° 25' až 29° 23'
Ekvivalentní ohnisková vzdálenost:	27 - 82 mm	Přepočteno na filmové políčko:	100° 29' až 42° 57'

Obr. 20 Úhel záběru [52]

Dle maximální velikosti strany a snímaného produktu je určena minimální vzdálenost L_{Fmin} objektivu od snímaného produktu viz Obr. 21.



Obr. 21 Minimální vzdálenost objektivu od produktu

$$L_{Fmin} = \frac{\frac{a}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (2)$$

$$L_{Fmin} = \frac{\frac{400}{2}}{\operatorname{tg} \frac{65^{\circ}50'}{2}}$$

$$L_{Fmin} = 308,95 \text{ mm} \Rightarrow \text{volím } 310 \text{ mm}$$



kde:

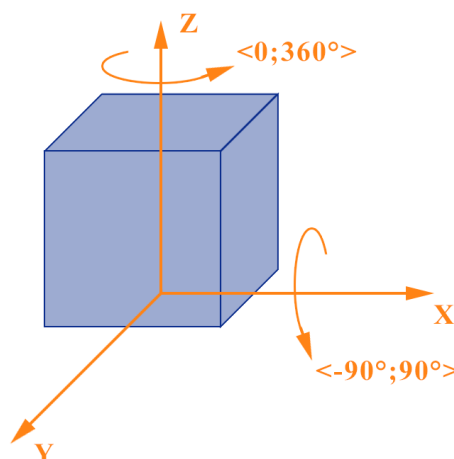
L_{Fmin} [mm] minimální vzdálenost objektivu od produktu

α [°] maximální horizontální úhel záběru dle tab [63]

β [°] minimální horizontální úhel záběru

2.4 KONSTRUKCE ROTAČNÍ DESKY

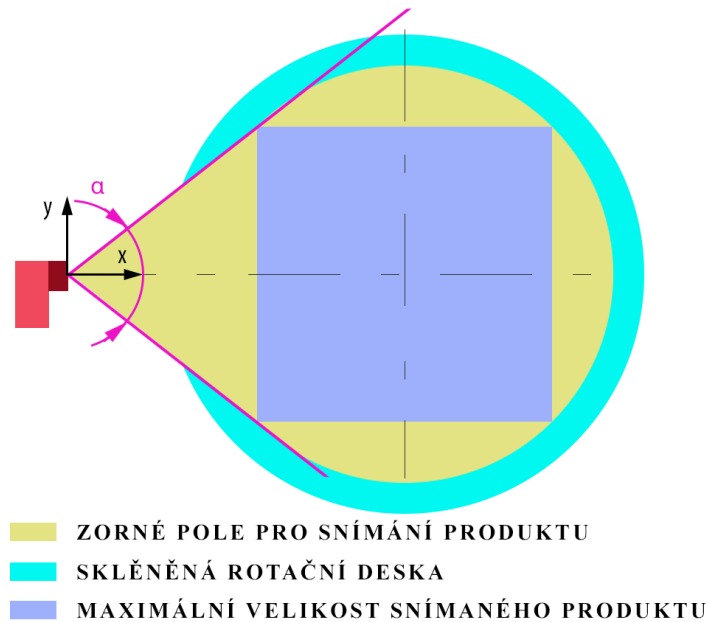
Při konstrukci uložení rotační desky pro kompaktní produktový fotoateliér je nutné zachovat zorné pole fotoaparátu a zajistit možnost snímat produkt jak z vrchní, tak spodní části a to bez jakékoliv manipulace s produktem během procesu focení. Aby byla zajištěna možnost snímání produktu shora i zdola, je rotační deska vyrobena ze skla.



Obr. 22 Souřadný systém a rozsah snímaného produktu

2.4.1 ULOŽENÍ ROTAČNÍ DESKY

Vzhledem ke splnění podmínky zachování zorného pole pro snímání produktu, nelze umístit hřídel do středu rotační desky. K uložení rotační desky se využívá pouze prostor po stranách viz Obr. 23.

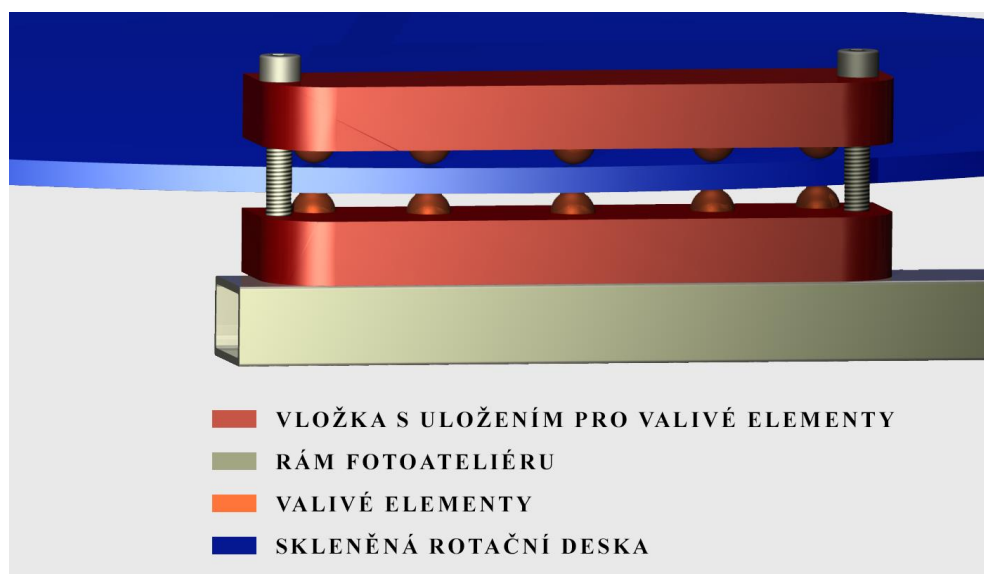


Obr. 23 Schéma možného uložení rotační desky

MOŽNOSTI ULOŽENÍ ROTAČNÍ DESKY

První možnost uložení

Konstrukce s valivými elementy umístěnými mezi vložkou spojenou s rámem a sklem viz Obr. 24. Tento koncept má řadu nevýhod. Největší nevýhodou je skleněná rotační deska, která tvoří funkční plochu a není žádoucí její poškrábání či zašpinění, k němuž by došlo při odvalování valivých elementů po skle. Další nevýhoda spočívá ve složitějším zajištění proti axiálnímu posunutí a pohonu rotační desky. Přidání dalších komponent, které řeší tyto problémy, je konstrukčně náročnější a v sestavě by bylo obsaženo více dílů, čímž se zvyšuje riziko poruchy a výrobní náklady.



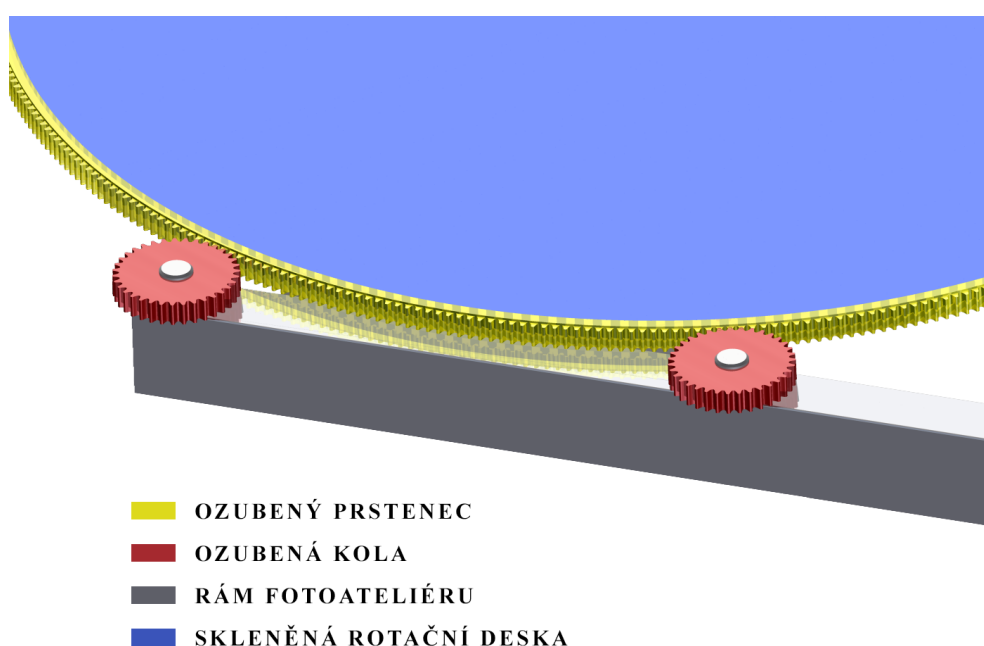
Obr. 24 Schématické znázornění uložení s valivými elementy



Druhá možnost uložení

Po obvodu skleněné desky je umístěn ozubený duralový nebo plastový prsteneček. Skleněná rotační deska s prstencem se vloží mezi čtyři ozubená kola a čtyři nosná kolečka pod rotační deskou. Ozubená kola zajistí správnou polohu rotační desky a omezí axiální posunutí. Nosná kolečka zajistí polohu rotační desky na ose Z a tvoří podporu rotační desky proti gravitaci. Rotace rotační desky probíhá pomocí jednoho ozubeného kola, které je v záběru s ozubeným prstencem viz Obr. 25.

Tento koncept má několik nevýhod v podobě finanční náročnosti při výrobě duralového ozubeného prstence, ozubených kol a při komplikované záměně rotační desky vzhledem k demontáži a montáži ozubeného prstence. Není zcela splněna podmínka čistého úhlu záběru, kdy je v určitých úhlech viditelné ozubení rotační desky.



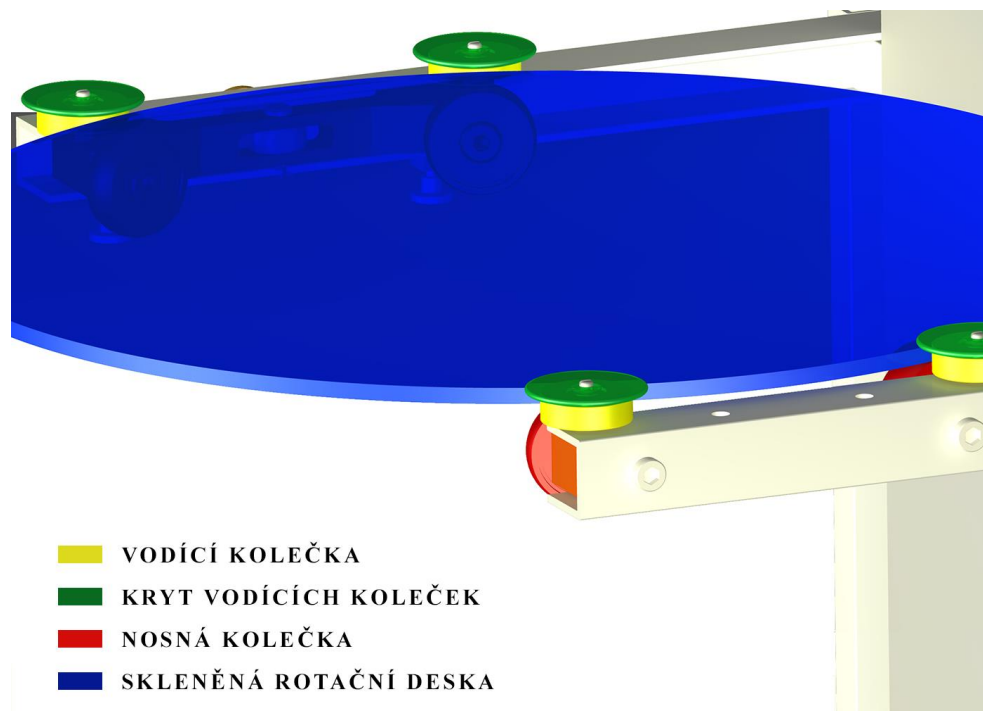
Obr. 25 Schéma znázornění uložení s ozubeným prstencem

Třetí možnost uložení

Konstrukce se čtyřmi vodícími kolečky po obvodě rotační desky a se čtyřmi nosnými kolečky pod rotační deskou. Vodící kolečka zajišťují správnou polohu rotační desky a svým tvarem omezují axiální posunutí. Nosná kolečka zajišťují polohu rotační desky na ose Z a tvoří její podporu viz Obr. 26.

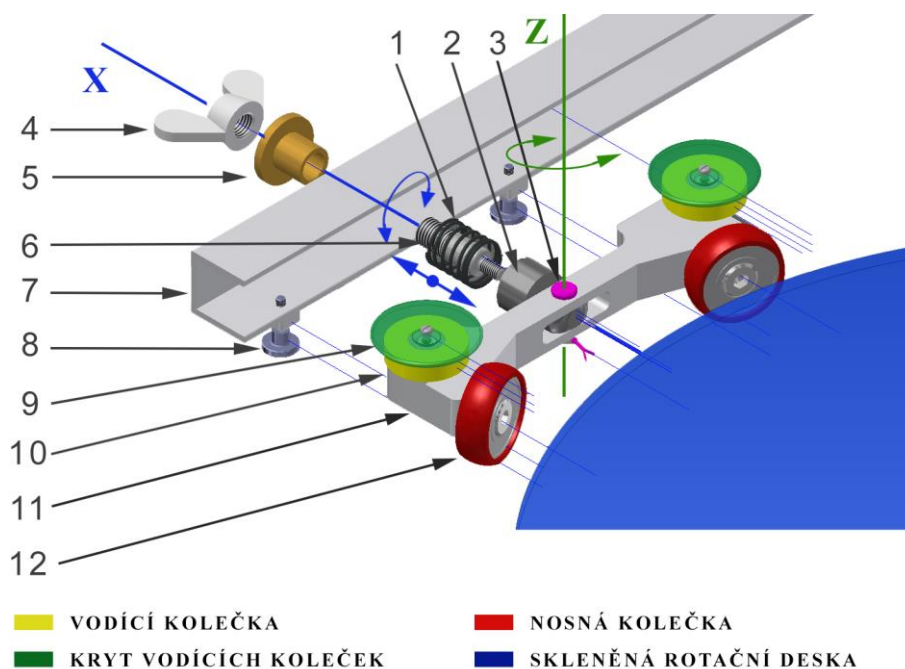
2.5 ZVOLENÉ ULOŽENÍ ROTAČNÍ DESKY

Byla zvolena konstrukce se čtyřmi vodícími kolečky po obvodě rotační desky a čtyřmi nosnými kolečky pod rotační deskou. V této konstrukci je třeba řešit problém se zajištěním požadovaného kontaktu všech koleček s rotační deskou, tak aby deska byla vždy v kontaktu se všemi kolečky.



Obr. 26 Schéma zvoleného uložení

2.5.1 ZPŮSOB ZAJIŠTĚNÍ ŘÁDNÉHO ULOŽENÍ A VEDENÍ ROTAČNÍ DESKY



Obr. 27 Schéma zajištění řádného uložení a vedení rotační desky
 pozice: 1 – tlačná pružina, 2 – pouzdro, 3 – čep, 4 – křídlová matice,
 5 – kluzné ložisko, 6 – hřídel se závity, 7 – pravé nosné rameno,
 8 – stavěcí šroub, 9 – kryt vodících koleček, 10 – vodící kolečka,
 11 – hliníková vložka, 12 – nosná kolečka



Kyvné uložení hliníkové vložky na čepu (viz Obr. 27) umožňuje její natočení kolem osy X . Tímto je zajištěno řádné uložení rotační desky na čtyřech nosných kolečkách.

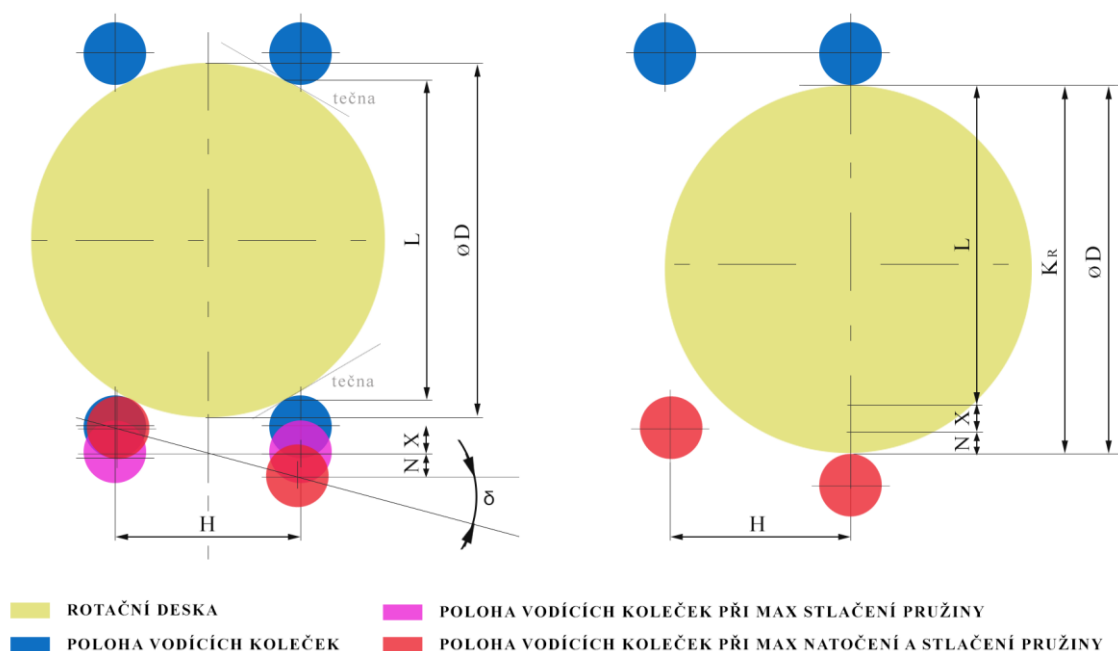
Natočení hliníkové vložky je možné o $\pm 3^\circ$. Při větším natočení se hliníková vložka dotkne nosného ramena, které slouží jako doraz. Doraz v kombinaci s krytem vodících koleček zajišťuje rotační desku proti případnému převrácení. Pro produkty, které mají výrazně posunuté těžiště od těžiště rotační desky omezíme natočení přes stavěcí šrouby.

Lineární vedení s tlačnou pružinou umístěné mezi pravou hliníkovou vložkou a pravým nosným ramenem v kombinaci s čepem spojícím pouzdro s vložkou, který umožňuje natočení kolem osy Z , zajišťuje řádné uložení rotační desky na čtyřech vodících kolečkách.

Lineární vedení je tvořeno kluzným ložiskem a pouzdrem. Mezi nosným ramenem a pouzdrem je umístěna tlačná pružina, která vyvolává tlačnou sílu přes pouzdro na hliníkovou vložku. Pomocí tlačné pružiny je zajištěn trvalý styk všech vodících koleček s rotační deskou. Lineární vedení je opatřeno dorazy, které zajišťují rotační desku proti nechtěnému vysunutí.

Konec hřídele lineárního vedení je opatřen závitem s křídlovou maticí. Při utáhnutí matice dojde ke stlačení pružiny. Tím dochází ke zvětšení vzdálenosti mezi soustavou vodících koleček v pravé a levé hliníkové vložce. Díky tomu lze rotační desku pohodlně umístit za pomoci jedné osoby.

VÝPOČET ROZSAHU DORAZŮ



Obr. 28 Schéma pro výpočet dorazů

$$K_R < D \quad \text{podmínka pro kritický stav} \quad (3)$$

$$L + X + N < D$$

$$N < D - L - X$$



$$N < 600 - 568,2 - 20$$

$$N < 11,8 \text{ mm} \Rightarrow \text{volím } 5 \text{ mm}$$

kde:

K_R [mm] vzdálenost mezi obvody vodících koleček v kritickém stavu

L [mm] vzdálenost mezi obvody vodících koleček pro ideální stav, hodnota zjištěna v programu Autodesk Inventor

X [mm] maximální stlačení pružiny

N [mm] maximální vzdálenost od natočení

$\varnothing D$ [mm] průměr rotační desky

VÝPOČET ÚHLU NATOČENÍ

$$\sin \delta = \frac{2N}{H} \quad (4)$$

$$\sin \delta = \frac{2 \cdot 5}{207,2}$$

$$\delta = 2^\circ 45'$$

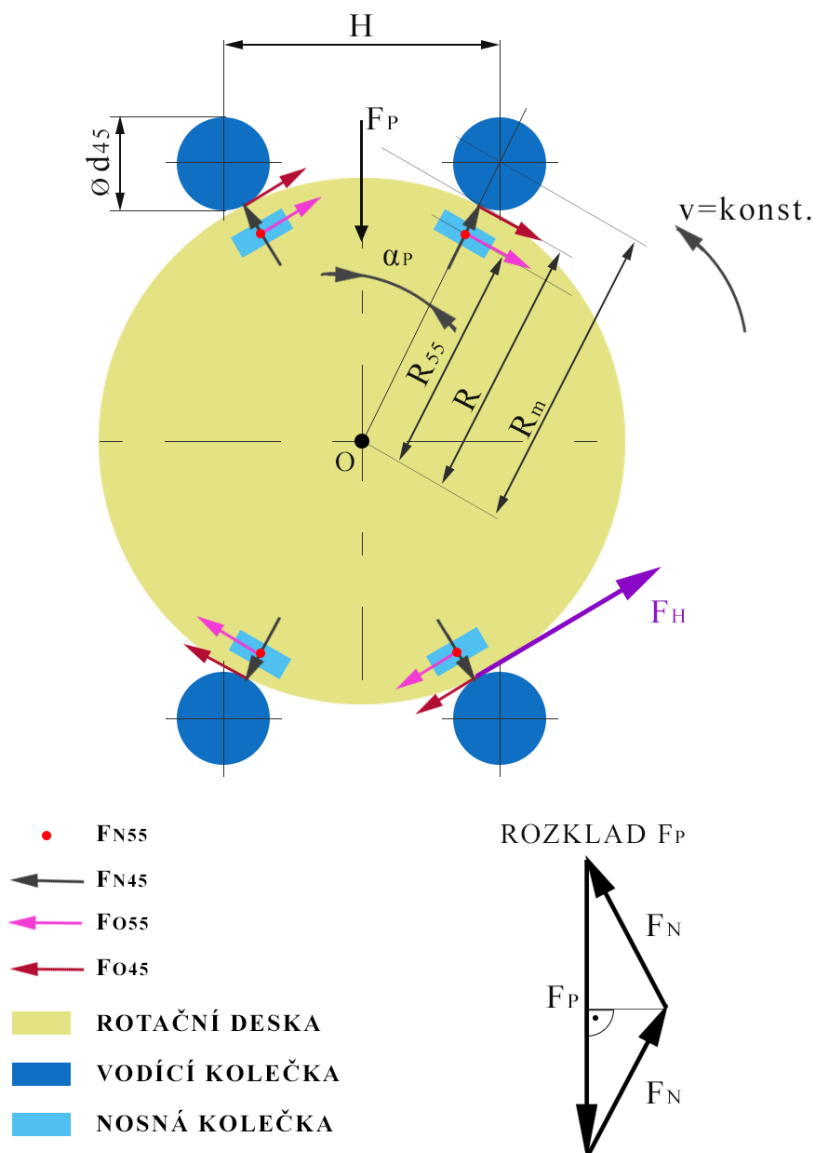
kde:

H [mm] vzdálenost mezi osy vodících koleček

δ [°] maximální úhel natočení



KONTROLA VALENÍ



Obr. 29 Schéma působících sil

$$F_H \leq F_{N45} \cdot f_{SG} \quad \text{statická podmínka valení} \quad (5)$$

kde:

 F_H [N] hnací síla

 F_{N45} [N] normálová síla na jedno vodící kolečko

 f_{SG} [-] statický součinitele tření mezi sklem a gumou [15]



VÝPOČET NORMÁLOVÉ SÍLY NA VODÍCÍ KOLEČKO

$$\sin\alpha_P = \frac{\frac{H}{2}}{R_m} = \frac{\frac{H}{2}}{R + \frac{d_{45}}{2}} \quad (6)$$

$$\sin\alpha_P = \frac{\frac{207,2}{2}}{300 + \frac{45}{2}}$$

$$\alpha_P = 18^\circ 44'$$

$$\cos\alpha_P = \frac{\frac{F_P}{2}}{F_{N45}} \Rightarrow F_{N45} = \frac{\frac{F_P}{2}}{\cos\alpha_P}$$

$$F_{N45} = \frac{\frac{50}{2}}{\cos(18,738)}$$

$$F_{N45} = 26,399 \text{ N}$$

kde:

- α_P [°] úhel mezi silou od pružiny a normálovou silou vodícího kolečka
 R_m [mm] vzdálenost mezi středem rotační desky a středem vodícího kolečka
 F_P [N] síla od tlačné pružiny
 R [mm] poloměr rotační desky

VÝPOČET NORMÁLOVÉ SÍLY NA NOSNÉ KOLEČKO

$$F_{N55} = \frac{(m_{SKLA} + m_{PRODUKTU}) \cdot g}{n_k} \quad (7)$$

$$F_{N55} = \frac{(5,697 + 5) \cdot 9,81}{4}$$

$$F_{N55} = 26,234 \text{ N}$$

kde:

- m_{SKLA} [kg] hmotnost rotační desky
 $m_{PRODUKTU}$ [kg] maximální hmotnost produktu
 F_{N55} [N] normálová síla na jedno nosné kolečko
 g [ms⁻²] tíhové zrychlení
 n_k [-] počet nosných koleček

**TŘECÍHO MOMENTU LOŽISKA**

- výpočet proveden dle [59]

$$M_L = 0,5 \cdot \mu \cdot P \cdot d_L \quad (8)$$

$$P \approx 0,1C$$

$$M_L = 0,5 \cdot \mu \cdot 0,1 \cdot C \cdot d_L$$

kde:

M_L [Nmm]	třecí moment ložiska
μ [-]	konstantní součinitel tření ložiska [59] tab. 1
P [N]	ekvivalentní dynamické zatížení ložiska
d_L [mm]	průměr díry ložiska
C [N]	základní dynamická únosnost ložiska

TŘECÍHO MOMENTU LOŽISKA 6200ZZ PRO VODÍCÍ KOLEČKO

$$M_{L45} = 0,5 \cdot \mu \cdot 0,1 \cdot C_{6200} \cdot d_{L45}$$

$$M_{L45} = 0,5 \cdot 0,0015 \cdot 0,1 \cdot 5400 \cdot 10$$

$$M_{L45} = 4,05 \text{ Nmm}$$

kde:

M_{L45} [Nmm]	třecí moment ložiska 6200ZZ
C_{6200} [N]	základní dynamická únosnost ložiska 6200 [7]
d_{L45} [mm]	vnitřní průměr ložiska 6200 [7]

TŘECÍHO MOMENTU LOŽISKA 6204ZZ PRO NOSNÉ KOLEČKO

$$M_{L55} = 0,5 \cdot \mu \cdot 0,1 \cdot C_{6204} \cdot d_{L55}$$

$$M_{L55} = 0,5 \cdot 0,0015 \cdot 0,1 \cdot 13500 \cdot 20$$

$$M_{L55} = 20,25 \text{ Nmm}$$

kde:

M_{L45} [Nmm]	třecí moment ložiska 6204ZZ
-----------------	-----------------------------



C_{6204} [N] základní dynamická únosnost ložiska 6204 [8]

d_{L55} [mm] vnitřní průměr ložiska 6204 [8]

VÝPOČET MOMENTU VALIVÉHO ODPORU PRO VODÍCÍ KOLEČKO

$$M_{V45} = e \cdot F_{N45} \quad (9)$$

$$M_{V45} = 1,5 \cdot 26,399$$

$$M_{V45} = 39,599 \text{ Nmm}$$

kde:

M_{V45} [Nmm] moment valivého odporu vodícího kolečka

e [mm] rameno valivého odporu sklo-guma nahrazen pneumatika-beton [1]

F_{N45} [N] normálová síla na jedno vodící kolečko

VÝPOČET MOMENTU VALIVÉHO ODPORU PRO NOSNÉ KOLEČKO

$$M_{V55} = e \cdot F_{N55} \quad (10)$$

$$M_{V55} = 1,5 \cdot 26,234$$

$$M_{V55} = 39,351 \text{ Nmm}$$

kde:

M_{V55} [Nmm] moment valivého odporu nosného kolečka

F_{N55} [N] normálová síla na jedno nosné kolečko

VÝPOČET ODPOROVÉ SÍLY OD VODÍCÍHO KOLEČKA

$$F_{O45} = \frac{2(M_{L45} + M_{V45})}{d_{45}} \quad (11)$$

$$F_{O45} = \frac{2(4,05 + 39,599)}{45}$$

$$F_{O45} = 1,939 \text{ N}$$

kde:

F_{O45} [N] síla odporu od vodícího kolečka

**VÝPOČET ODPOROVÉ SÍLY OD VODÍCÍHO KOLEČKA**

$$F_{O55} = \frac{2(M_{L55} + M_{V55})}{d_{55}} \quad (12)$$

$$F_{O55} = \frac{2(20,25 + 39,351)}{55}$$

$$F_{O55} = 2,167 \text{ N}$$

kde:

F_{O55} [N] síla odporu od nosného kolečka

MOMENTOVÁ ROVNICE ROVNOVÁHY K BODU O

$$\sum M_O = 0; 4 \cdot F_{O45} \cdot R + 4 \cdot F_{O55} \cdot R_{55} - F_H \cdot R = 0 \quad (13)$$

Výpočet hnací síly F_H

$$F_H = \frac{4 \cdot F_{O45} \cdot R + 4 \cdot F_{O55} \cdot R_{55}}{R}$$

$$F_H = \frac{4 \cdot 1,939 \cdot 300 + 4 \cdot 2,167 \cdot 285,4}{300}$$

$$F_H = 16 \text{ N}$$

kde:

M_O [Nm] moment k bodu O

$$F_H \leq F_{N45} \cdot f_{SG}$$

$$16 \leq 26,399 \cdot 0,87$$

$$16 \text{ N} \leq 22,967 \text{ N}$$

Podmínka pro valení je splněna.



2.5.2 JEDNOTLIVÉ PRVKY ULOŽENÍ

Uložení rotační desky se skládá z těchto komponentů:

ROTAČNÍ DESKA

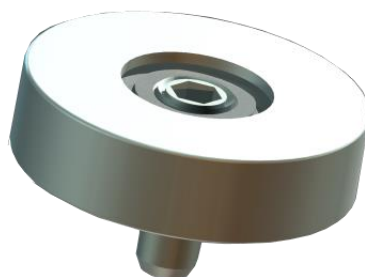
Rotační deska má kruhový tvar o průměru 600 mm a tloušťce 8 mm. Pro splnění podmínky snímání produktu z vrchní i spodní části je použit materiál sklo. Rotační deska bude zakoupena [55].

Tab. 2 Základní parametry rotační desky [55]

Průměr [mm]	Tloušťka [mm]	Materiál	Typ desky	Hrana	Hmotnost [g]
600	8	Tepelně tvrzené bezpečnostní sklo	Čirá	Matná	5697

VODÍCÍ KOLEČKA

Hlavním úkolem vodících koleček je zajištění přesné pozice rotační desky v konstrukci kompaktního produktového fotoateliéru. V konstrukci jsou použité dva páry vodících koleček. Vodící kolečka jsou v tečném styku s rotační deskou. Mají průměr 45 mm a tloušťku 12 mm. Průměr koleček je volen s ohledem na rychlost otáček koleček a rozměry konstrukce. Výška koleček je zvolena s ohledem na tloušťku rotační desky. Vodící kolečka jsou vyrobená z materiálu polyacetal, který neporuší povrch a zároveň zajišťuje dostatečný součinitel tření mezi kolečkem a rotační deskou. Vodící kolečka budou zakoupena [20].



Obr. 30 Vodící kolečko

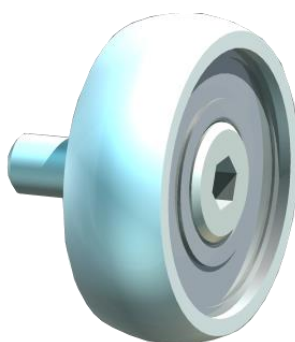
Tab. 3 Základní parametry vodícího kolečka [20]

Průměr kolečka [mm]	Tloušťka [mm]	Materiál	Závit čepu	Délka závitů čepu [mm]	Ložisko
45	8	Polyacetal	M8	12	6200ZZ



NOSNÁ KOLEČKA

Hlavním úkolem nosných koleček je přenesení sil do rámu konstrukce, které vznikají od působení hmotnosti produktu a rotační desky. Voleny jsou dva páry nosných koleček. Nosná kolečka jsou v tečném styku s povrchem rotační desky. Mají průměr 55 mm a tloušťku 18 mm. Průměr koleček je zvolen s ohledem na rychlost otáček koleček. Tloušťka je volena s ohledem na tlak působící na rotační desku. Zaoblení bylo zvoleno z důvodu lepšího styku povrchu kolečka s povrchem rotační desky. Nosná kolečka jsou vyrobená z materiálu urethane. Nosná kolečka budou zakoupena [57].



Obr. 31 Nosné kolečko

Tab. 4 Základní parametry nosného kolečka [57]

Průměr kolečka [mm]	Tloušťka [mm]	Materiál	Závit čepu	Délka závitu čepu [mm]	Ložisko
55	18	Urethane	M10	20	6204ZZ

NOSNÉ RAMENO

Hlavním úkolem nosného ramena je přenášet síly do bočnice rámu. Polotovar nosného ramene je C profil 40x40x4 ze slitiny hliníku (AlMgSi) [22]. Rozměry nosného ramena jsou voleny s ohledem na rozměry dalších komponentů, působení sil v nosném rameni a k estetickému působení celé konstrukce. Materiál nosného ramene je volen s ohledem na hmotnost a mechanické vlastnosti materiálu.

LEVÁ HLINÍKOVÁ VLOŽKA

Levá hliníková vložka má dva úkoly. Prvním je zajistit polohu a uložení vodících a nosných koleček. Druhým úkolem je zajistit polohu hliníkového pouzdra pro hřídel ramena fotoaparátu. Hliníková vložka je přišroubována k nosnému rameni a tvoří tak pevný celek. Materiál je volen s ohledem na hmotnost a mechanické vlastnosti materiálu.

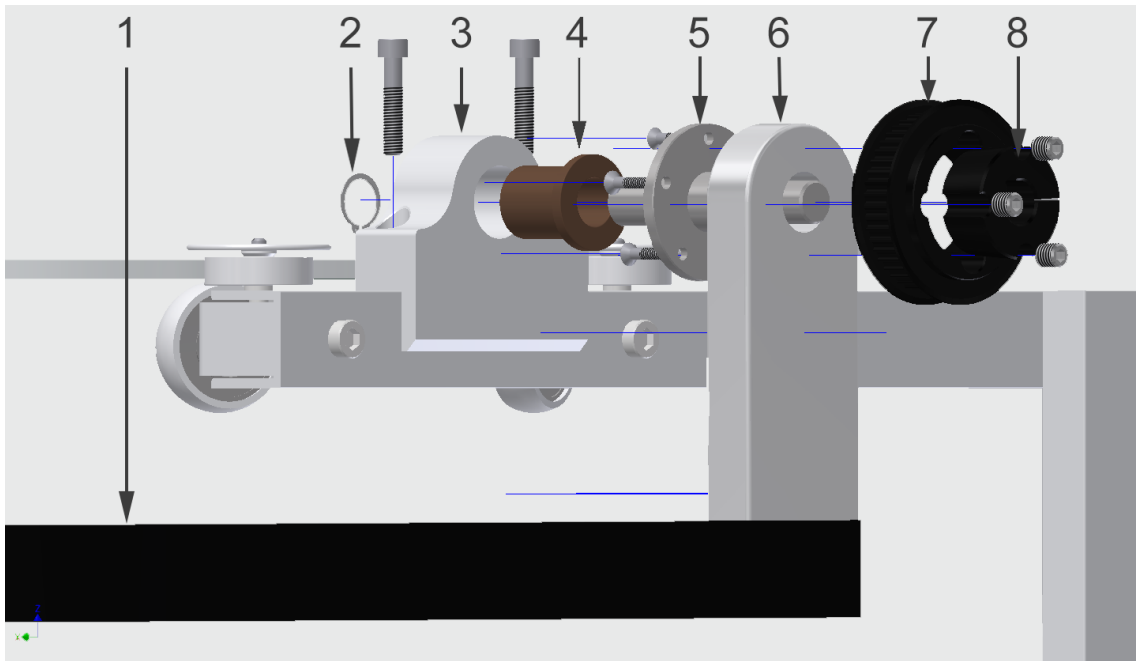


PRAVÁ HLINÍKOVÁ VLOŽKA

Pravá hliníková vložka má tři úkoly. Prvním je zajistit polohu a uložení vodících a nosných koleček. Druhým je poskytnout uložení pro lineární vedení. Třetím úkolem je poskytnout uložení pro čep.

2.6 ULOŽENÍ RAMENE FOTOAPARÁTU

Realizace uložení viz Obr. 32. Ocelová hřídel je jedním koncem uložena v kluzném ložisku, které je uloženo v hliníkovém pouzdře a druhým koncem uložena v hliníkové tyči. Spoj s hliníkovou tyčí je realizován pěti šrouby na roztečné kružnici, které přenášejí krouticí moment mezi hliníkovou tyčí a hřídelí. Hliníková tyč je pevně spojena s ramenem fotoaparátu dvěma šrouby. Na konec hřídele je namontována ozubená řemenice s taper pouzdrem, které přenáší krouticí moment z ozubené řemenice na hřídel. Rotace hřídele a tedy i ramene fotoaparátu je zajištěna přes řemenový převod, který je poháněn krokovým motorem.



Obr. 32 Rozložený pohled uložení ramene fotoaparátu
 pozice: 1 – rameno fotoaparátu, 2 – pojistný kroužek, 3 – hliníkové pouzdro, 4 – kluzné ložisko,
 5 – ocelová hřídel, 6 – hliníková tyč, 7 – ozubená řemenice, 8 – taper pouzdro

HLINÍKOVÉ POUZDRO

Zajišťuje uložení pro ocelovou hřídel. Produkt bude rotovat dle osy Z vždy v polovině výšky produktu. Z tohoto důvodu je osa hřídele umístěna o $1/3c$ – maximální výšky snímaného produktu nad osou rotační desky. Posunutí zajišťuje přiblížení k ose rotace produktů s rozdílnou výškou. Dále vhodný SW dopočítá vzdálenost osy rotace od středu výšky snímaného produktu a vhodně přizpůsobí obraz tak, aby osa rotace byla v polovině výšky produktu.



KLUZNÉ LOŽISKO

Zvoleno z důvodu nízkého součinitele tření, samomazných vlastností a přesného uložení hřídele. Tyto vlastnosti zajišťují plynulý chod.

Tab. 5 Základní parametry kluzného ložiska [54]

Vnitřní průměr [mm]	Tloušťka [mm]	Materiál	Maximální povolená rychlost [m/s]	Maximální přípustné zatížení [N/mm ²]
20	5	Bronz	1.66	10

TAPER POUZDRO

Zvoleno z důvodů přenesení relativně vysokého krouticího momentu bez použití pera.

Tab. 6 Základní parametry taper pouzdra 1210 [58]

Průměr hřídele [mm]	Tloušťka [mm]	Přenesený krouticí moment bez použití pera [Nm]	Svěrná síla	Materiál	Hmotnost [kg]
21	25,4	105	M8	GG20	0,28

OZUBENÁ ŘEMENICE

Zvolena z důvodu změny převodového poměru, díky kterému jsou kladeny nižší nároky na krouticí moment motoru viz kapitola 3.

Tab. 7 Základní parametry Ozubené řemenice pro taper pouzdro [46]

Počet zubů	Typ	Maximální průměr [mm]	Pouzdro	Materiál	Hmotnost [kg]
48	5M	76,39	1210	Ocel	0,45

POJISTNÝ KROUŽEK

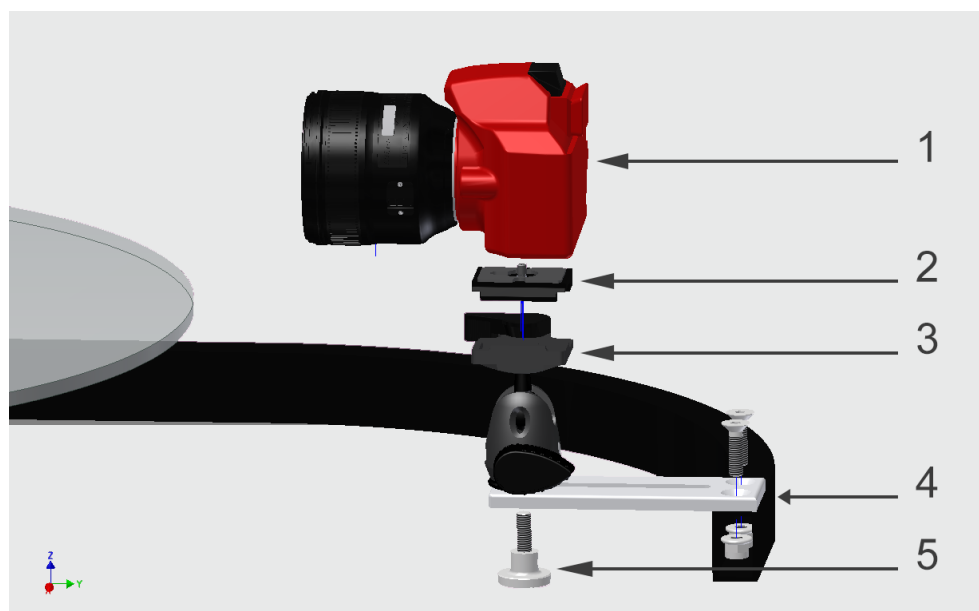
Zajišťuje hřídel proti axiálnímu posunutí.

2.7 ULOŽENÍ FOTOAPARÁTU

K fotoaparátu je přišroubovaná normovaná rychloupínací destička. Díky této destičce můžeme upevnit různé typy fotoaparátu, například Nikon D90. Destička je upnuta do kulové stativové hlavy [56].



Stativová kulová hlava je přišroubovaná k hliníkové destičce s drážkou. Drážka umožňuje pohyb stativové hlavy a tedy změnu vzdálenosti fotoaparátu od středu rotace rotační desky. Při zmenšení této vzdálenosti je dosaženo vyšší kvality fotografií u rozměrově menších produktu.



Obr. 33 Rozložený pohled uložení fotoaparátu
 pozice: 1 – fotoaparát, 2 – rychloupínací destička, 3 – Stativová hlava,
 4 – destička s drážkou, 5 – utahovací šroub

Kulová hlava umožňuje natočení fotoaparátu, tím jsou eliminovány vzniklé výrobní nepřesnosti.



Obr. 34 Kulová hlava

Tab. 8 Základní parametry

kulová hlava [56]

Hmotnost [g]	Druh hlavy	Materiál hlavy	Rychloupínací destička	Výška [cm]	Nosnost [kg]
400	Kulová	Hliník	Ano	9	6



2.8 KONSTRUKCE RÁMU

Rám kompaktního produktového fotoateliéru je tvořen svařencem hliníkových profilů. Typ profilů byl zvolen s ohledem na jejich hmotnost a pevnost.



Obr. 35 návrh konstrukce rámu



3 POHON KOMPAKTNÍHO FOTOATELIÉRU

Pro pohon rotační desky a ramene fotoaparátu byly zvoleny krokové motory.

Výhoda krokových motorů spočívá ve velkém kroutícím momentu při nízkých otáčkách, takže není třeba použít převodovku, nízké nebo žádné náklady na údržbu a otáčky lze přesně regulovat. S těmito vlastnostmi dosahují krokové motory malých rozměrů a nízké hmotnosti.

3.1 VOLBA MOTORU PRO POHON ROTAČNÍ DESKY

Volba krokového motoru vycházela z výpočtu F_H viz Obr. 29.

VÝPOČET ÚHLOVÉ RYCHLOSTI ROTAČNÍ DESKY

$$\omega_{SKLA} = 2\pi \cdot n_{SKLA} \quad (14)$$

$$\omega_{SKLA} = 2\pi \cdot \frac{1}{60}$$

$$\omega_{SKLA} = 0,105 \text{ s}^{-1}$$

kde:

$\omega_{SKLA} [\text{s}^{-1}]$ – úhlová rychlost rotační desky

$n_{SKLA} [\text{s}^{-1}]$ – otáčky rotační desky

VÝPOČET OBVODOVÉ RYCHLOSTI ROTAČNÍ DESKY

$$v_{OSKLA} = \omega_{SKLA} \cdot R \quad (15)$$

$$v_{OSKLA} = 0,105 \cdot 0,3$$

$$v_{OSKLA} = 0,0315 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

kde:

$v_{OSKLA} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ – obvodová rychlost rotační desky

VÝPOČET ÚHLOVÉ RYCHLOSTI VODÍČÍHO KOLEČKA

$$\omega_{45} = \frac{2 \cdot v_{OSKLA}}{d_{45}} \quad (16)$$

$$\omega_{45} = \frac{2 \cdot 0,0315}{0,045}$$



$$\omega_{45} = 1,4 \text{ s}^{-1}$$

kde:

$\omega_{45} [\text{s}^{-1}]$ – úhlová rychlost vodícího kolečka

VÝPOČET ÚHLOVÉ RYCHLOSTI ROTAČNÍ DESKY

$$v_{OR55} = \omega_{SKLA} \cdot R_{55} \quad (17)$$

$$v_{OR55} = 0,105 \cdot 0,2854$$

$$v_{OR55} = 0,03 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$\omega_{55} = \frac{2 \cdot v_{OR55}}{d_{55}}$$

$$\omega_{55} = \frac{2 \cdot 0,03}{0,055}$$

$$\omega_{55} = 1,09 \text{ s}^{-1}$$

kde:

$v_{OR55} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ – obvodová rychlost rotační desky v místě styku nosných koleček

$\omega_{55} [\text{s}^{-1}]$ – úhlová rychlost nosného kolečka

VÝPOČET MOMENTU SETRVAČNOSTI ROTAČNÍ DESKY

$$J_{skla} = \frac{1}{2} m_{SKLA} \cdot R^2 \quad (18)$$

$$J_{skla} = \frac{1}{2} \cdot 5,697 \cdot 0,3^2$$

$$J_{skla} = 0,2564 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

kde:

$J_{skla} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$ – moment setrvačnosti rotační desky k těžišti

$m_{SKLA} [\text{kg}]$ – hmotnost rotační desky

VÝPOČET MOMENTU SETRVAČNOSTI PRO MAX VELIKOST A HMOTNOST PRODUKTU

$$J_{PRODUKT} = \frac{1}{12} m_{PRODUKT} \cdot (a^2 + b^2) \quad (19)$$

$$J_{PRODUKT} = \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot (0,4^2 + 0,4^2)$$



$$J_{PRODUKT} = 0,13 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

kde:

$J_{PRODUKT}$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$] – moment setrvačnosti produktu k těžišti

$m_{PRODUKT}$ [kg] – maximální hmotnost produktu

VÝPOČET MOMENTU SETRVAČNOSTI KOLEČEK

Výpočty momentu setrvačnosti byly provedeny v programu Autodesk Inventor.

$$J_{45} = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (20)$$

$$J_{55} = 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

kde:

J_{45} [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$] – moment setrvačnosti vodícího kolečka k těžišti

J_{55} [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$] – moment setrvačnosti nosného kolečka k těžišti

VÝPOČET REDUKOVANÉHO MOMENTU SETRVAČNOSTI K OSE ROTORU MOTORU

$$\frac{1}{2} \cdot J_{RED} \cdot \omega_{45}^2 = \frac{1}{2} \cdot (4 \cdot J_{45} \cdot \omega_{45}^2 + 4 \cdot J_{55} \cdot \omega_{55}^2 + J_{SKLA} \cdot \omega_{SKLA}^2 + J_{PRODUKTU} \cdot \omega_{SKLA}^2)$$

$$J_{RED} = \frac{(4 \cdot J_{45} \cdot \omega_{45}^2 + 4 \cdot J_{55} \cdot \omega_{55}^2 + J_{SKLA} \cdot \omega_{SKLA}^2 + J_{PRODUKTU} \cdot \omega_{SKLA}^2)}{\omega_{45}^2} \quad (21)$$

$$J_{RED} = \frac{(4 \cdot 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 1,4^2 + 4 \cdot 5,9 \cdot 10^{-5} \cdot 1,09^2 + 0,2564 \cdot 0,105^2 + 0,13 \cdot 0,105^2)}{1,4^2}$$

$$J_{RED} = 2,36 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

kde:

J_{RED} [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$] – redukovaný moment setrvačnosti k ose rotoru motoru, pozn. $J_{RED} = J_L$

VÝPOČET STATICKÉHO MOMENTU

- výpočet proveden dle [30]

$$T_L = F_H \cdot R_{45} \quad (22)$$

$$T_L = 16 \cdot 0,0225$$

$$T_L = 0,36 \text{ Nm}$$



kde:

T_L [Nm] – statický moment

VÝPOČET DYNAMICKÉHO MOMENTU

- výpočet proveden dle [30]

$$T_A = \frac{(J_0 \cdot i^2 + J_L) \cdot N_M}{9,55 \cdot t_1} \quad (23)$$

$$T_A = (J_0 \cdot i^2 + J_L) \cdot \frac{\omega_{45}}{t_1}$$

$$T_A = (0,03 \cdot 10^{-3} \cdot 1 + 2,36 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{1,4}{1}$$

$$T_A = 3,346 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$$

kde:

J_0 [$kg \cdot m^2$] – moment setrvačnosti rotoru motoru [24]

i^2 [-] – převodový poměr

N_M [min^{-1}] – pracovní otáčky motoru

t_1 [s] – doba zrychlování/zpomalování

T_A [Nm] – dynamický moment

VÝPOČET POŽADOVANÉHO KROUTÍCIHO MOMENTU

$$T_M = (T_L + T_A) \cdot S_f \quad (24)$$

$$T_M = (0,36 + 3,346 \cdot 10^{-3}) \cdot 2$$

$$T_M = 0,73 \text{ Nm}$$

kde:

T_M [Nm] – minimální požadovaný kroučící moment motoru

S_f [-] – bezpečnostní faktor, doporučen 1,5 – 2 \Rightarrow volím 2 [30]

VÝPOČET PRACOVNÍCH OTÁČEK MOTORU

$$\omega_{45} = 2\pi \cdot n_M \quad (25)$$



$$n_M = \frac{\omega_{45}}{2\pi}$$

$$n_M = \frac{1,4}{2\pi}$$

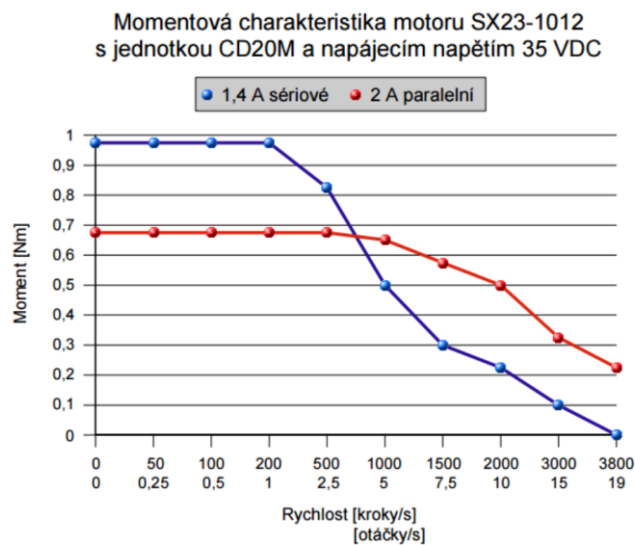
$$n_M = 0,23 \text{ s}^{-1}$$

Zvolen krokový motor Microcon SX23-1012 s jednotkou CD20M a napájením napětím 35 VDC, připojen sériově 1,4 A [30]

Tab. 9 Základní parametry krokového motoru SX23-1012 [30]

Statický moment [Nm]	Moment setrvačnosti rotoru [$kg \cdot m^2 \cdot 10^{-3}$]	Hmotnost [kg]	Výška a šířka [cm]	Délka [cm]
1,2	0,03	0,7	56,4 x 56,4	56

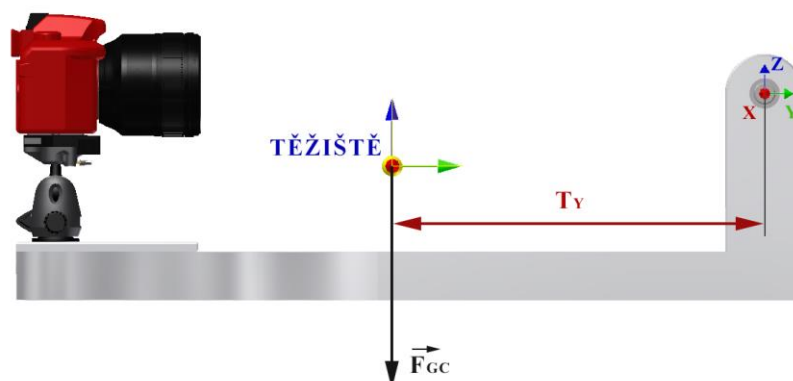
Pracovní oblast motoru spadá do oblasti pod křivkou v momentové charakteristice motoru SX23-1012 viz Obr. 36 Obr. 36



Obr. 36 Momentová charakteristika motoru SX23-1012 [29]



3.2 VOLBA MOTORU PRO POHON RAMENE FOTOAPARÁTU



Obr. 37 Schéma působících sil

VÝPOČET STATICKÉHO MOMENTU

- výpočet proveden dle [30]

$$T_{L2} = F_{GC} \cdot T_Y = m_C \cdot g \cdot T_Y \quad (26)$$

$$T_{L2} = 3,162 \cdot 9,81 \cdot 0,306$$

$$T_{L2} = 9,5 \text{ Nm}$$

kde:

T_{L2} [Nm] – statický moment

F_{GC} [N] – gravitační síla celé sestavy v těžišti sestavy

m_C [kg] – hmotnost celé sestavy zjištěna z 3D modelu v Autodesk Inventor

T_Y [m] – vzdálenost těžiště od osy rotace (počátku) zjištěno z 3D modelu v Autodesk Inventor

Třecí moment kluzného ložiska nebyl uvažován vzhledem k nízké hodnotě.

VÝPOČET MOMENTU SETRVAČNOSTI CELÉ SESTAVY K OSE ROTACE

Výpočty momentu setrvačnosti byly provedeny v programu Autodesk Inventor.

$$J_C = 0,55 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

kde:

J_C [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$] – moment setrvačnosti celé sestavy k ose rotace

**VÝPOČET PŘEVODOVÉHO POMĚRU**

$$i_2 = \frac{z_2}{z_1} \quad (27)$$

$$i_2 = \frac{48}{15}$$

$$i_2 = 3,2$$

kde:

i_2 [-] – převodový poměr

z_1 [-] – počet zubů ozubené řemenice 1

z_2 [-] – počet zubů ozubené řemenice 2

VÝPOČET DYNAMICKÉHO MOMENTU

- výpočet proveden dle [30]

$$T_{A2} = (J_0 \cdot i_2^2 + J_C) \cdot \frac{\omega_2}{t_1} \quad (28)$$

$$T_{A2} = (0,18 \cdot 10^{-3} \cdot 3 + 0,55) \cdot \frac{0,5}{1}$$

$$T_{A2} = 0,275 \text{ Nm}$$

kde:

T_{A2} [Nm] – dynamický moment

ω_2 [s^{-1}] – úhlová rychlost motoru

VÝPOČET POŽADOVANÉHO KROUTÍCÍHO MOMENTU

$$T_{M2} = \frac{(T_{L2} + T_{A2}) \cdot S_f}{i_2 \cdot \eta_P} \quad (29)$$

$$T_{M2} = \frac{(9,5 + 0,275) \cdot 1,6}{3,2 \cdot 0,98}$$

$$T_{M2} = 4,99 \text{ Nm}$$

kde:

T_{M2} [Nm] – minimální požadovaný kroutící moment motoru

η_P [-] – účinnost řemenového převodu [60]


VÝPOČET PRACOVNÍCH OTÁČEK MOTORU

$$\omega_2 = 2\pi \cdot n_{M2} \quad (30)$$

$$n_{M2} = \frac{\omega_2}{2\pi}$$

$$n_M = \frac{0,5}{2\pi}$$

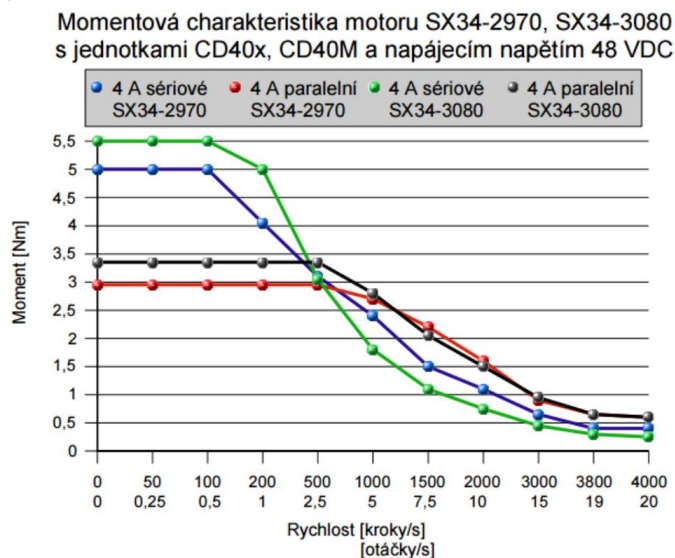
$$n_M = 0,08 \text{ s}^{-1}$$

Zvolen krokový motor Microcon SX34-2970 s jednotkou CD40M a napájením napětím 48 VDC, připojen sériově 4 A [30]

Tab. 10 Základní parametry krokového motoru SX34-2970 [30]

Statický moment [Nm]	Moment setrvačnosti rotoru [$kg \cdot m^2 \cdot 10^{-3}$]	Hmotnost [kg]	Výška a šířka [cm]	Délka [cm]
7	0,18	3	85,9 x 85,9	90

Pracovní oblast motoru spadá do oblasti pod křivkou v momentové charakteristice motoru SX34-2970 viz Obr. 38



Obr. 38 Momentová charakteristika motoru SX34-2970 [29]



ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout konstrukci kompaktního produktové fotoateliéru, který splňuje zadané parametry s ohledem na nižší pořizovací cenu, z důvodu dostupnosti zařízení širší veřejnosti. Úvodní část byla věnována rešerši o dostupných zařízení k digitalizaci produktu, dále byla řešena konstrukce a výpočty odporových sil s následnou vhodnou volbou pohonu.

Pro snímání produktu byl zvolen fotoaparát Nikon D3100 se základním objektivem Nikon 18-55mm f/3,5-5,6G II AF-S DX. Rotační deska byla zvolena ze skla, aby bylo možné snímat produkt v ose $Z \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$ a ose $X \langle -90^\circ; 90^\circ \rangle$. V současné době žádné jiné zařízení neumožňuje tento rozsah. Při snímání produktu přes sklo je počítáno s horší kvalitou fotografií, např. vlivem lomu paprsků na povrchu skla. Tento efekt nebyl součástí řešení této práce.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [2] 360 Photography Turntables. *PhotoGear 360* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.photogear360.com/2-equipment>
- [3] 360 Product Photography Turntable. *Ortery* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.ortery.com/Photography-Equipment/360-Product-Photography>
- [4] 3D MFP. *ORTERY* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.ortery.com/photography-equipment/3d-modeling/3d-MFP>
- [5] 3D MultiArm 3000: Automated 3D Product Photo Equipment. *ORDERY* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.ortery.com/Photography-Equipment/3D-Photography-Equipment/3D-MultiArm-3000-3D-Product-Photo-Arm>
- [6] 3D MultiArm 3000. 2015. *Ortery.com* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.ortery.com/sites/default/files/images/products/3d-multiarm-3000-3d-product-photo-equipment-3.jpg>
- [7] 6200. [Http://skf.com/cz](http://skf.com/cz) [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?prodid=1050010200&imperial=false>
- [8] 6204. [Http://skf.com/cz](http://skf.com/cz) [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?prodid=1050010204&imperial=false>
- [9] ALPHASHOT 360. *ORBITVU* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://orbitvu.com/alphashot-360>
- [10] Alphashot micro. 2015. *Networkinnovation* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.networkinnovation.fi/20.0.0.2/22912/cache/22912_55da009fad3e9aa0da70e3cef93e2ce6.jpg
- [11] Alphashot. 2015. [Http://www.fotopolis.pl](http://www.fotopolis.pl) [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.fotopolis.pl/media/obrazki/alphashot.jpg>
- [12] BMW. 2015. [Http://i.ytimg.com](http://i.ytimg.com) [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://i.ytimg.com/vi/ywmQ_ew4WdY/maxresdefault.jpg
- [13] CASE. *Photorobot* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.photorobot.com/portfolio/case/>
- [14] CENTRELESS TABLE KIT. *PhotoRobot* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.photorobot.com/portfolio/centreless-table-kit/>



- [15] Coefficients of Friction for Glass. *Http://hypertextbook.com* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://hypertextbook.com/facts/2005/glass.shtml>
- [16] CUBE-bike. 2015. *FotoRobot & PhotoRobot* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: https://scontent-fra.xx.fbcdn.net/hphotos-xaf1/t31.0-8/475921_10150767790468830_260662704_o.jpg
- [17] CUBE. 2015. *Photorobot* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.photorobot.com/wp-content/uploads/2014/09/25-1214x450@2x.jpg>
- [18] CUBE. *PhotoRobot* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.photorobot.com/portfolio/cube/>
- [19] Dreibein-Kamerastativ. 2015. *Eduscho* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://ws2-media1.tchibo-content.de/newmedia/art_img/MAIN_ALT_HD_2-IMPORTED/43c0f5c6945abc42/.jpg
- [20] EBHS45. 2015. *Uk.misumi-ec.com* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110300424570/?HissuCode=EBHS45&PNSearch=EBHS45&searchFlow=results2products>
- [21] Fishing reel. 2015. *Ortery Technologies* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://truvview.ortery.com/360HTMLJavaScript/360Finals/360-product-view-fishing-reel/360-product-view-fishing-reel.html>
- [22] Hliníkové jekly - čtvercové,obdelníkové. *Ehlinik.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.ehlinik.cz/hlinikove-jekly-ctvercoveobdelnikove/kat-F300000101.html>
- [23] Imajize: Turntables. *Imajize* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.imajize.com/>
- [24] Krokové motory. *Http://www.microcon.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz/pdf2015/13-20.pdf>
- [25] MAREK, Vlastimil. Matrixring Photokina 2010 - Weltrekord. In: *Http://youtube.com* [online]. 12.3.2013. 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=UNL2B6ZqZM4>
- [26] MATRIX 360° Phototechnology. *3D-VIZ* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.3d-viz-technology.com/englisch/products/matrix/>
- [27] Matrix ring. 2015. *3D viz technology* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://u.jimdo.com/www400/o/s533026453e781619/img/ie567a3c5a32c098d/1390378922/std/image.jpg>
- [28] Modulares Aufnahmesystem für Produktfotografie in 360° und Full-3D: XY SPIN TOP 50. *XY IMAGER* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.xyimager.com/en/module/module-xy-spin-top-50/>



- [29] Momentová charakteristika. *Http://www.microcon.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz/pdf2015/21-22.pdf>
- [30] Motor size. *Http://www.orientalmotor.com* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/motor-sizing-calculations.html>
- [31] Multicam. 2015. *FotoRobot & PhotoRobot* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: https://fbexternal-a.akamaihd.net/safe_image.php?d=AQDe8Nf6sc6tCHmg&w=470&h=246&url=http%3A%2F%2Fi.vimeocdn.com%2Fvideo%2F489076079_1280x720.jpg&cfs=1&upscale=1
- [32] MULTICAM. *Photorobot* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.photorobot.com/portfolio/multicam/>
- [33] Nikon D3100 set. 2015. *Megapixel.cz* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.megapixel.cz/nikon-d3100-1363717783>
- [34] Nikon D3100 tělo. 2015. *Megapixel.cz* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://cdn.megapixel.cz/images/w800h800-2x/1/8761.jpg>
- [35] Nikon SLR. 2015. *Esellerpro* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://images.esellerpro.com/2167/I/171/666/800_nikon_slr.jpg
- [36] Objektiv Nikon. 2015. *Megapixel.cz* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://cdn.megapixel.cz/images/w800h800-2x/5/17245.jpg>
- [37] ORBITVU-set. 2015. *ORBITVU* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.orbitvu.com.au/wp-content/uploads/2_ORBITVU-set.jpg
- [38] ORBITVU ALPHASHOT MICRO: Exchangeable platforms. *ORBITVU* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://orbitvu.com/alphashot-micro#Accessories>
- [39] Orbitvu Kit MINI. 2015. *Kelvin-pro.com* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.kelvin-pro.com/sites/default/files/styles/product-slideshow-grand/public/produits/orbitvu-209a9-base-orbitvu-kit-orbitvu-mini-42245.jpg>
- [40] *ORBITVU Technologies: photography software* [online]. 2015 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://orbitvu.com/technologies#IQ-Mask>
- [41] *ORBITVU: ALPHASHOT MICRO* [online]. 2015 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://orbitvu.com/alphashot-micro#Description>
- [42] ORBITVU: ALPHASHOT MICRO. *ORBITVU* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://orbitvu.com/alphashot-micro>
- [43] *ORBITVU: Sets/kits* [online]. 2015 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://orbitvu.com/sets-kits>
- [44] *ORBITVU: Teleport Your Products* [online]. 2015 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://orbitvu.com/>



- [45] Ortery 3D Product Photography Equipment. 2015. *Ortery.com* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.ortery.com/Photography-Equipment/3D-Photography-Equipment>
- [46] Ozubená řemenice. *Http://www.tyma.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.tyma.cz/files/doc/zs-5m-tb.pdf>
- [47] *PAMCO IMAGING: 360 product view photography* [online]. 2015 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://www.pamco-imaging.com/>
- [48] Preparation. 2015. *FotoRobot & PhotoRobot* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/FotoRobot/photos/pb.377349423829.-2207520000.1431117413./10150977490008830/?type=3&theater>
- [49] *PRODUCTS - 3D-VIZ.COM: 360° Phototechnology* [online]. 2015 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://www.3d-viz-technology.com/englich/products/products/>
- [50] PRODUCTS | PhotoRobot.com. 2015. *PhotoRobot.com* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.photorobot.com/products/>
- [51] Produktfotografie in 360° und Full-3D: XY BOOM. *XY IMAGER* [online]. 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.xyimager.com/en/module/xy-boom/>
- [52] Přepočítání ohniskových vzdáleností. 2015. *Megapixel.cz* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.megapixel.cz/prepocet-ohniskovych-vzdalenosti>
- [53] Recenze Nikon D3100. 2015. *Blog.aaron.cz* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://blog.aaron.cz/2011/11/recenze-nejprodavanejsi-zrcadlovky.html>
- [54] SHFZ20-40. *Http://uk.misumi-ec.com* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110300031960/?HissuCode=SHFZ20-40&PNSearch=SHFZ20-40&searchFlow=results2products>
- [55] Skleněné desky kruh. 2015. *Lino.cz* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.lino.cz/stolove-desky/sklenene-desky/sklenene-desky-kruh>
- [56] Stativová hlava Manfrotto. 2015. *Megapixel.cz* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.megapixel.cz/manfrotto-496rc2-compact>
- [57] SUMBRT20-55. 2015. *Uk.misumi-ec.com* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110302278870/?HissuCode=SUMBRT20-55&PNSearch=SUMBRT20-55&searchFlow=results2products>
- [58] Taper pouzdro. *Http://www.tyma.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.tyma.cz/files/doc/taper.pdf>
- [59] Tření. *Http://zbozi.arkov.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://zbozi.arkov.cz/dl/311/Treni.pdf.html>
- [60] Účinnost řemenových převodů. *Http://www.tyma.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.tyma.cz/caste-dotazy/ucinnost-remenu/>



- [61] XY Boom. 2015. *XYimager* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.xyimager.com/wp-content/uploads/2013/07/modul_XY_boom.png
- [62] XY OPAL DESK KIT. 2015. *Photouniversal* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.photouniversal.de/out/pictures/generated/product/1/244_245_90/sol_opaldesk_neu2_1.png
- [63] Zorný úhel. [Http://www.fotoroman.cz](http://www.fotoroman.cz) [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.fotoroman.cz/glossary2/2_zorny_uhel.htm



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[mm]	nejdelší strana produktu, viz zadání
C_{6200}	[N]	základní dynamická únosnost ložiska 6200 [7]
C_{6204}	[N]	základní dynamická únosnost ložiska 6204 [8]
d_{L45}	[mm]	vnitřní průměr ložiska 6200 [7]
d_{L55}	[mm]	vnitřní průměr ložiska 6204 [8]
d_{min}	[mm]	minimální průměr rotační desky
e	[mm]	rameno valivého odporu sklo-guma nahrazen pneumatika-beton
F_{GC}	[N]	gravitační síla celé sestavy v těžišti sestavy
F_H	[N]	hnací síla
F_{N45}	[N]	normálová síla na jedno vodící kolečko
F_{N55}	[N]	normálová síla na jedno nosné kolečko
F_{O45}	[N]	síla odporu od vodícího kolečka
F_{O55}	[N]	síla odporu od nosného kolečka
F_P	[N]	síla od tlačné pružiny
f_{SG}	[-]	statický součinitele tření mezi sklem a gumou [15]
g	$[m \cdot s^{-2}]$	tíhové zrychlení
H	[mm]	vzdálenost mezi osy vodících koleček
i^2	[-]	převodový poměr
i_2	[-]	převodový poměr
J_{45}	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti vodícího kolečka k těžišti
J_{55}	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti nosného kolečka k těžišti
J_C	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti celé sestavy k ose rotace
J_O	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti rotoru motoru
$J_{PRODUKT}$	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti produktu k těžišti
J_{RED}	$[kg \cdot m^2]$	redukovaný moment setrvačnosti k ose rotoru motoru
J_{skla}	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti rotační desky k těžišti
K_R	[mm]	vzdálenost mezi obvody vodících koleček v kritickém stavu
L	[mm]	vzdálenost mezi obvody vodících koleček pro ideální stav
L_{Fmin}	[mm]	minimální vzdálenost objektivu od produktu
m_C	[kg]	hmotnost celé sestavy
M_L	[Nmm]	třecí moment ložiska
M_{L45}	[Nmm]	třecí moment ložiska 6200ZZ



M_{L55}	[Nmm]	třecí moment ložiska 6204ZZ
M_O	[Nm]	moment k bodu O
$m_{PRODUKTU}$	[kg]	maximální hmotnost produktu
m_{SKLA}	[kg]	hmotnost rotační desky
M_{V45}	[Nmm]	moment valivého odporu vodícího kolečka
M_{V55}	[Nmm]	moment valivého odporu nosného kolečka
N	[mm]	maximální vzdálenost od natočení
n_k	[-]	počet nosných koleček
n_M	[s ⁻¹]	otáčky motoru
N_M	[min ⁻¹]	pracovní otáčky motoru
n_{M2}	[s ⁻¹]	otáčky motoru
n_{SKLA}	[s ⁻¹]	otáčky rotační desky
P	[N]	ekvivalentní dynamické zatížení ložiska
R	[mm]	poloměr rotační desky
R_{55}	[mm]	vzdálenost mezi středem rotační desky a středem vodícího kolečka
S_f	[-]	bezpečnostní faktor
t_1	[s]	doba zrychlování/zpomalování
T_A	[Nm]	dynamický moment
T_{A2}	[Nm]	dynamický moment
T_L	[Nm]	statický moment
T_{L2}	[Nm]	statický moment
T_M	[Nm]	minimální požadovaný kroutící moment motoru
T_{M2}	[Nm]	minimální požadovaný kroutící moment motoru
T_Y	[m]	vzdálenost těžiště od osy rotace
v_{OR55}	[m · s ⁻¹]	obvodová rychlost rotační desky v místě styku nosných koleček
v_{OSKLA}	[m · s ⁻¹]	obvodová rychlost rotační desky
X	[mm]	maximální stlačení pružiny
z_1	[-]	počet zubů ozubené řemenice 1
z_2	[-]	počet zubů ozubené řemenice 2
α	[°]	maximální úhel záběru
α_P	[°]	úhel mezi silou od pružiny a normálovou silou vodícího kolečka
β	[°]	minimální úhel záběru
δ	[°]	maximální úhel natočení



η_P	[-]	účinnost řemenového převodu
μ	[-]	konstantní součinitel tření ložiska [59] tab. 1
ω_2	$[s^{-1}]$	úhlová rychlost motoru
ω_{45}	$[s^{-1}]$	úhlová rychlost vodícího kolečka
ω_{55}	$[s^{-1}]$	úhlová rychlost nosného kolečka
ω_{SKLA}	$[s^{-1}]$	úhlová rychlost rotační desky
$\varnothing d_k$	[mm]	průměr vodících koleček
$\varnothing D$	$[s^{-1}]$	průměr rotační desky



SEZNAM PŘÍLOH

P1	Výkres sestavy	15-BP-00000
P2	Výkres rámu	15-BP-01001