



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Návrh kamerového jeřábu

Design of cammera crane

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Martin ROSA

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Karel Petr, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rosa** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **437251**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh kamerového jeřábu

Název bakalářské práce anglicky:

Design of Cammera Crane

Pokyny pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je návrh kamerového jeřábu. Student vypracuje rešerži o kamerových jeřábech, ve které také popíše potřebné pohyby kamery. Následně provede návrh několika konstrukčních řešení, a na základě požadovaných parametrů vybere nevhodnější variantu. Vybranou variantu student rozpracuje. Návrh bude obsahovat potřebné výpočty. Rozsah grafické části: 3D model; sestavný výkres; dva výrobní výkresy.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
- [2] Joseph E. Shigley: Konstruování strojních součástí. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0
- [3] FREDERICK E. GIESECKE. Technical Drawing with Engineering Graphics. 2014. Pearson New International Edition. ISBN 13: 9781292026183.
- [4] Katalogy výrobců

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


Ing. Karel Petr Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **27.03.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **09.06.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Podpis vedoucí(ho) práce


Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

12.4.2017
Datum převzetí zadání

Rosa
Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Praze dne

Martin Rosa

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat Ing. Karlu Petrovi, Ph.D. za vedení a rady při tvorbě mé bakalářské práce a dále všem, kteří mě v průběhu psaní podporovali.

Dále děkuji celé mé rodině za psychickou podporu a trpělivost při studiu.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora: Martin ROSA

Název BP: Návrh kamerového jeřábu

Anglický název: Design of camera crane

Rok: 2017

Studijní program: B2342 Teoretický základ strojího inženýrství

Obor studia: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Ústav: Ústav konstruování a částí strojů

Vedoucí BP: Ing. Karel Petr Ph.D.

Konzultant: -

Bibliografické údaje: počet stran 51

počet obrázků 38

počet tabulek 6

počet příloh 4

Klíčová slova: Kamerový jeřáb, kamera, stativ, rameno, kamerová hlava, aretace, naklápění, natáčení

Keywords: Camera crane, camera, tripod, jib, camera head, arrest, tilt, pan

Anotace:

Bakalářská práce se zabývá návrhem kamerového jeřábu. V úvodu je zpracován současný stav problematiky kamerových jeřábů. Navazující oddíl odkrývá rozdělení kamerových jeřábů a základní pohyby kamery. Dále se práce věnuje návrhu několika konstrukčních řešení a vybrání vhodné varianty. Závěr práce je věnován realizaci kamerového jeřábu.

Abstract:

The bachelor thesis describes a design of camera crane. The introduction deals with the current problems of camera cranes. The following part of the work focuses on the separation of camera cranes and basic camera movements. The thesis also deals with the design of several construction solutions and the selection of a suitable variant. The conclusion is devoted to the construction of the camera crane.

OBSAH

1. Úvod.....	1
2. Současný stav	2
2.1. Kamerová technika – manipulátory.....	2
2.1.1. Stativ.....	2
2.1.2. Steadicam.....	2
2.1.3. Kamerový jeřáb	3
2.2. Hlavní části a rozdělení kamerových jeřábů	5
2.2.1. Kamerové jeřáby podle místa prostředí	5
2.2.2. Rameno jeřábu	5
2.2.3. Základna kamerového jeřábu.....	7
2.2.4. Kamerová hlava.....	9
2.3. Základní pohyby kamery	10
2.3.1. Kamera je na stativu, nemění stanoviště (švenkování).....	11
2.3.2. Kamera mění stanoviště vůči snímané scéně.....	12
2.3.3. Zoom.....	12
3. Vymezení cílů práce	13
4. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty	14
4.1. Volba konstrukčního materiálu.....	14
4.2. Varianta A	14
4.2.1. Výpočet maximálního napětí působícího v rameni jeřábu.....	15
4.2.2. Hmotnost protizávaží z momentové podmínky.....	16
4.2.3. Průhyb na konci ramene.....	17
4.3. Varianta B	17
4.3.1. Výpočet maximálního napětí působícího v rameni	18
4.3.2. Hmotnost protizávaží	20
4.3.3. Průhyb na konci ramene.....	21
4.4. Zhodnocení variant řešení.....	22
5. Konstrukční řešení	23
5.1. Kamerová hlava	23
5.1.1. Návrh pohonu kamerové hlavy	25
5.1.2. Výpočet nalisování	27
5.1.3. Kontrola na otláčení dutého hřídele.....	29
5.2. Rameno	30
5.2.1. Kontrola čepu v uložení ramene	31
5.3. Konstrukce základny	32
5.3.1. Otočný střed	32
5.3.2. Volba ložiska.....	33
5.3.3. Kontrola svaru	33

5.3.4. Pojízdny stativ	33
5.3.5. Výpočet pojízdných kol	34
5.4. Řešení kabeláže.....	35
6. Závěr	36
Seznam použité literatury	38
Seznam použitých zkratk a symbolů	40
Seznam obrázků.....	43
Seznam tabulek	44
Seznam příloh.....	44

1. Úvod

Věda, technika, průmysl – to vše se prolíná i do umění. Technika a technologie dává umělcům nástroje pro jejich vyjádření, pro zpracování myšlenky a záměru. Ne jinak je tomu i v kinematografii. Snaha o zachycení děje, pohybu a její reprodukce trvá od pradávna, avšak teprve nástup techniky umožnil zahájit éru filmu jako takového. Jeho začátky datujeme od roku 1895 v souvislosti s prvním promítáním filmu bratry Lumiérovými [1]. Přestože první záběry byly statické, brzy nastala potřeba škálu možností rozšířit. Filmaři si brzy uvědomili, že záběr vyniká nejen svým námětem a kompozicí, ale i dynamikou v jeho zachycení. Právě pohyb kamery při snímání umocňuje atmosféru záběru – vyvolává v divákovi napětí, drama, porozumění a spoustu dalších emocí.

Režisér často stojí před problémem změny úhlu záběru, otáčení kamery během snímání, pohybu zprava doleva, shora dolů, dopředu, dozadu, atd. V některých těchto pohybech je nutná rychlost, jindy plynulost. Konstrukteři ve spolupráci s filmaři začali pro kinematografii vyvíjet otočné hlavy na stativy, kamerové jízdy (dolly), kamerová ramena (jib), kamerové jeřáby (crane) nebo i steadicamy.

Moje práce je soustředěna na návrh právě takového kamerového jeřábu. Kamerový jeřáb pomáhá filmařům odkrývat perspektivu záběru tak, aby divákovi nabídl atraktivnější pohled než „lidskému mozku tolik známý“ pohled z výšky očí. A nejen to, použití jeřábu může oživit záběr i měnící se perspektivou pohledu. Na trhu si můžeme vybrat kamerové jeřáby z obrovské škály lišící se svoji velikostí, integrovanou technologií a způsobem pohonu. Ovšem pořízení takového jeřábu je velice nákladná záležitost. Proto se pokusím navrhnout kamerový jeřáb s nízkými výrobními náklady, jednoduchou konstrukcí, jednoduchým ovládáním, rychlou montáží a demontáží, přesto však splňující požadavky na rozsah pohybu s využitím v interiéru i exteriéru.



Obr. 1.: Současná špička na trhu – teleskopický kamerový jeřáb Supertechno [2]

2. Současný stav

Když si uvědomíme čím je pro nás nějaký obraz či fotografie zajímavá, co nás nutí si ji prohlížet znovu a znovu, přemýšlet nad ní, často zjistíme, že to je nejen kompozice zachycené scény, ale perspektiva z jaké byla scéna zachycena. I na „obyčejnou“ scénu se můžeme podívat z neobyčejné (pro člověka „neokoukané“) perspektivy – nadhledu, podhledu nebo úhlu – a záběr se stane hned atraktivnějším. Právě v kinematografii má toto své místo. Nejen perspektiva záběru, ale i pohyb kamery určuje to, co divák uvidí. Proto má smysl se kromě stativů věnovat i zařízením, která umožňují pohyb kamery.

2.1. Kamerová technika – manipulátory

2.1.1. Stativ

Stativ je speciální stojan pro zajištění dočasné stabilizace zařízení (kamery) a umožnění pohybu kolem své osy (otáčení). Filmový stativ má téměř vždy podobu trojnožky (tripod), ale existují i jednonohé stativy (monopod). Díky stativové hlavě (obvykle na kulovém kloubu nebo třícestné) umožňuje jak nastavení kamery ve zvoleném úhlu a směru, tak i pohyb ve třech osách. [4]



Obr. 2.: Stativ (Tripod) [3]

2.1.2. Steadicam

Jedná se o mechanické zařízení umožňující kameramanovi nosit kameru sebou při natáčení záběru a zároveň ji izolovat od otřesů. Používají se tam, kde okolnosti vyžadují, aby se kamera pohybovala spolu se zabíraným objektem (hercem, předmětem). Supluje se tímto většinou pohled některé z postav filmu a záběr dostává nový, bezprostřední a nezprostředkovaný charakter. V dnešní době se stále více používají i zařízení s elektronickou tříosou stabilizací (gimbal).



Obr. 3.: Steadicam [5]

2.1.3. Kamerový jeřáb

Specializované zařízení sloužící ke kontrolovanému pohybu kamery. Obvykle se vždy jedná o podstavu a hlavní rameno fungující na principu páky (tedy protizávaží na spodním konci vyrovnávající posun těžiště). Konstrukce jeřábu respektuje požadavky na pohyb kamery s velkým vertikálním rozpětím. Většinou se takovýto záběr používá pro tzv. „otevření/uzavření scény“. Tedy celkový pohled na scénu a následně „přejetí“ na jeho část (akční záběr uvnitř scény). Obsluha kamerového jeřábu bývá obvykle práce pro dvou až tří členný tým. Aktuální obraz kamery je možno přenést na externí monitor, který mohou sledovat členové realizačního týmu (režisér, ostříč, obsluha jeřábu, atd.).

V současné době máme tři základní provedení kamerových jeřábů pro kinematografické účely:

- Kamerový jeřáb (Camera crane)
- Kamerové rameno (Jib)
- Sedačkový jeřáb (Cine jib)

Nejpoužívanější je právě kamerový jeřáb. Význam sedačkových jeřábů zanikl s možností dálkově ovládané kamerové hlavy. Má práce se bude dále zabývat právě rozbořem a návrhem kamerového jeřábu. [4]



Obr. 4.: Kamerový jeřáb (Camera crane) [6]

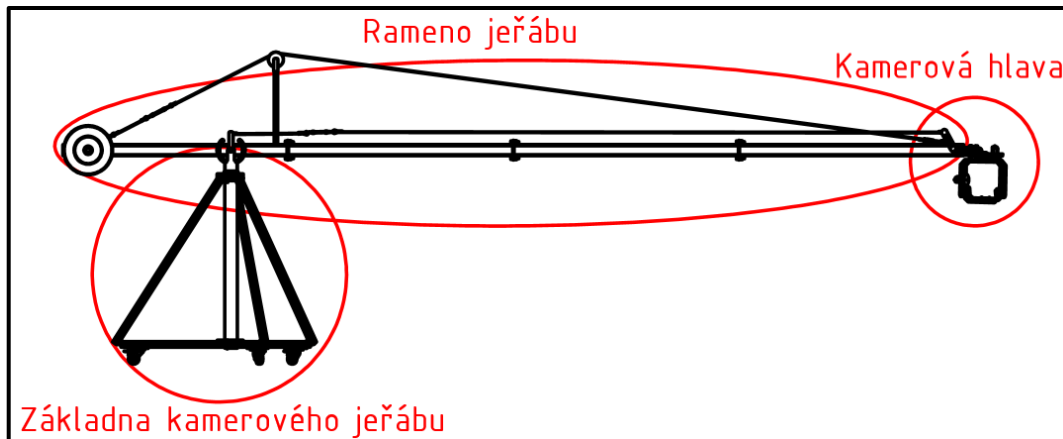


Obr. 5.: Kamerové rameno (Jib) [7]



Obr. 6.: Sedačkový jeřáb (Cine jib) [8]

2.2. Hlavní části a rozdělení kamerových jeřábů



Obr. 7.: Hlavní části kamerového jeřábu

2.2.1. Kamerové jeřáby podle místa prostředí

S kamerovým jeřábem můžeme natáčet ve dvou prostředích a to konkrétně v interiéru a exteriéru.

Konstrukčně se liší ve stavbě podvozku. Do exteriéru se používá podvozek s bantamovými koly, sloužící pro snadnější pohyb po terénu. Do interiéru se používá k pohybu spíše podvozek s koly s elastickou pryží nebo s kolejovými koly, která se pohybují po kolejnicové trati. Všeobecně platí, že záběry z kolejnicové jízdy jsou nejvíce plynulé.

2.2.2. Rameno jeřábu

Rameno je jedna z nejdůležitějších částí každého jeřábu. Délka ramena a hmotnost kamery, kterou můžeme na vysunuté rameno umístit, jsou hlavními parametry kamerového jeřábu. Rameno obvykle tvoří hliníkový nosník, který musí být dostatečně tuhý, aby unesl požadované zatížení a přesto se neprohýbal. Při některých konstrukcích ramene se průhyb nosníku eliminuje přidáváním podpůrných ocelových lanek. Hmotnost ramena je významným kritériem kvůli jeho vyvážení. Díky konstrukci ramene můžeme kamerový jeřáb rozdělit na dvě základní skupiny:

- Kamerové jeřáby s teleskopickým ramenem
- Jeřáby s pevným ramenem

U kamerových jeřábů s teleskopickým ramenem se hlavní nosné rameno může plynule vysouvat a zvětšovat tak rozsah v ose Z (s vysunutím ramena je nutno měnit polohu závaží – vyvážená poloha). Významným výrobcem kamerového jeřábu s tímto

typem ramene je plzeňská společnost Technocrane za nějž dokonce v roce 2005 dostal její majitel Horst Burbulla Oscara za technický přínos filmu. Mohou se pyšnit také účastí při natáčení filmů, jako jsou například Titanic, Pearl Harbor, Harry Potter, Matrix či Spiderman. Pro představu - nejdražší Supertechno 50 stojí okolo 444 tisíc eur. [9]



Obr. 8.: Teleskopické rameno – Supertechno 50 [10]

Jeřáby s pevným ramenem jsou v porovnání s teleskopickými rameny o poznání levnější. Mohou mít rameno složeno z několika segmentů, které je možné jednoduše rozšroubovat a sbalit.



Obr. 9.: Kamerový jeřáb s pevným ramenem [11]

2.2.3. Základna kamerového jeřábu

Základna jeřábu zajišťuje stabilitu a mobilitu celého zařízení. U menších jeřábů je základnou obvykle trojnožka (případně trojnožka na kolečkách) a rameno je uloženo na čepu umožňující pohyb v horizontální a vertikální ose. Dalším řešením je základna v podobě vozíku, na které je připevněn nosný sloup (může být hydraulický), který nese rameno jeřábu. Vozík je pojízdný po vlastních bantamových kolech (snadné překonávání terénu), nebo po dráze (kolejová kola). Pohyb vozíku umožňuje nejen přemístování jeřábu, ale i dynamiku během záběru. U velkých jeřábů může být rameno montováno přímo na nákladní automobil. Uložení ramene jeřábu vyžaduje přesné konstrukční řešení a to nejen z důvodu smontovatelnosti (přemístování jeřábu) ale hlavně z důvodu působení velkých pák díky délce ramene. Jakékoli nepřesnosti by se pak násobně projevíly při pohybu kamery umístěné na konci ramene.

Podle použité základny můžeme kamerové jeřáby rozdělit na:

- Statické – základna jeřábu není opatřena koly. Obvykle sem spadají malé jeřáby (do 4 m)



Obr. 10.: Statický kamerový jeřáb [12]

- Manuální – základnu většinou tvoří trojnožka s koly (kola s valivými ložisky bez jakéhokoli zařízení na vytvoření kroutícího momentu). K přesunu je nutno fyzické síly obsluhy (jeřáby do 10 m)



Obr. 11.: Manuální kamerový jeřáb [13]

- Motorové – základnou je podvozek s motorem a převodovkou (obvykle servomotor, nebo synchronní motor z důvodu snadné regulace otáček). Zdrojem elektrické energie je baterie. Tento druh jeřábů používají velké filmové společnosti s dostatečným finančním kapitálem (jeřáby okolo 20m)



Obr. 12.: Motorový kamerový jeřáb [14]

- Zprostředkované – například rychle se pohybující scény, kde kamera musí udržovat konstantní vzdálenost od rychle se pohybujícího objektu. Tato zařízení jsou většinou konstrukčně náročná a jednoúčelová. Pomocí speciálně upraveného automobilu se například takto natáčel slavný magazín o autech - Top Gear [15]



Obr. 13.: Kamerový jeřáb na upraveném automobilu [15]

2.2.4. Kamerová hlava

Základnou pro umístění kamerové hlavy na konci ramene je nosník tvaru L. Tento nosník musí být neustále (při pohybu ramene) ve vodorovné poloze. Této funkce lze docílit dvěma základními způsoby:

- Použití druhého ramene
- Použití lana



Obr. 14.: Kamerový jeřáb s použitím druhého ramene [16]



Obr. 15.: Kamerový jeřáb s použitím ocelového lanka [17]

Ovládání kamerové hlavy může být mechanické – pomocí systému táhel nebo elektrické – ovládané dálkově, pohyb zajišťují stejnosměrné elektromotory nebo krokové motory. Nejčastější provedení je pomocí dvou elektromotorů zajišťující rotaci kolem dvou os (2D). Hlavní výhodou dálkově ovládaných kamerových hlav je přesnost pohybu, možnost přesného opakování pohybu (důležité při klíčování) a také automatické soustředění pohledu kamery do jednoho bodu zatímco se rameno pohybuje.



Obr. 16.: Dálkově ovládaná kamerová hlava [18]

2.3. Základní pohyby kamery

Ryze specifický prvek, který prošel v dějinách kinematografie výraznou proměnou. V počátcích byla kamera ještě statická. Postupně si tvůrci začali uvědomovat přednosti filmového vyprávění, osvobodili kameru od staticčnosti a využili možnosti pohybu – tedy

dynamiku záběru. Častokrát se záběry skládají z několika pohybů zároveň, uvedu ale úplně základní druhy snímání. [19]

Rozlišujeme dva druhy snímání:

- Kamera je na stativu, nemění stanoviště – švenkování
- Kamera mění stanoviště vůči snímané scéně

2.3.1. Kamera je na stativu, nemění stanoviště (švenkování)

Slovo švenk pochází z německého „Schwenken“ – změna směru pohledu.

Rozlišujeme dva druhy švenků:

- Horizontální švenk
- Vertikální švenk

Horizontální švenk znamená, že se kamera pohybuje v horizontální rovině, říká se tomu panorama. Horizontální švenk se může provádět dvěma způsoby. První je, že se švenkuje po nehybných objektech – dostáváme pohyb do záběru. Druhým způsobem je způsob tzv. sledovací – sledujeme pohybující se objekty. [19]

Vertikální švenk znamená pohyb kamery ve vertikální rovině. Mění se tzv. rakurz tj. úhel, který svírá osa objektivu s vodorovnou rovinou. Známe tyto typy rakurzů:

- Normální rakurz – kamera je ve vodorovné rovině
- Podhledový rakurz – kamera švenkuje směrem vzhůru
- Nadhledový rakurz – kamera švenkuje směrem dolů

Důležité je, abychom při švenkování měli stejnou rychlost s pohybujícím se objektem, ale ne zas příliš vysokou. Může vzniknout tzv. stroboskopický jev, který je velmi rušivý, u citlivých jedinců může vyvolat i epileptický záchvat. K zabránění tohoto jevu slouží tabulka, která určuje potřebný čas vztažený k počtu snímku např.: při rozsahu 180° a snímkování 25 snímků za sekundu je třeba dodržet minimální čas pohybu alespoň 5 sekund. [20]

Působivým efektem při švenkování je použití synchronizaci blesku na druhou lamelu. Právě tak se docílí efektu, kdy sledovaný objekt je ostrý, zatímco okolí je rozmazané. Většinou se používá při snaze seznámit diváka s prostředím, nebo k přenesení pozornosti z jednoho objektu na druhý. [21]

2.3.2. Kamera mění stanoviště vůči snímané scéně

Rozlišujeme tyto následující druhy:

- V ose objektivu – přibližování a oddalování
- Příčný pohyb – sledování a protipohyb
- Zdvih

Přibližování a oddalování scény je provedeno v ose objektivu. Pozor, neplést si se zoomem (transfokace). Zoomování se provádí tlačítkem na kameře, kamera se nehýbe! Tento pohyb se většinou vykonává za pomoci vozíku (dolly) popř. teleskopického ramene. Oddalování se rozumí přesný opak přibližování. Ve filmařské terminologii se zavedly pojmy „dolly in“ a „dolly out“. Tyto pohyby umožňují přejít z širokého záběru na užší záběr, někdy až na detail. [4]

Sledování (tracking) je pohyb stejným směrem a rychlostí, jako se pohybuje pozorovaný objekt. Např. když kamera jede v autě a natáčí cyklisty, kteří jedou vedle auta. Opakem je protipohyb (countermove). Kamera se zde pohybuje opačným směrem, než se pohybuje pozorovaný objekt. Někdy se můžeme setkat i s tím, že se kamera pohybuje po kruhové dráze. Tyto záběry se používají například místo panoramování, kde by statičnost kamery nepůsobila dostatečně dynamicky. [4]

2.3.3. Zoom

Většina dnešních přístrojů používá objektiv s proměnnou ohniskovou vzdáleností, tzv. zoom (transfokátor). Změnou ohniskové vzdálenosti (zoomování) měníme obrazový úhel, tedy „přitahujeme“ či „oddalujeme“ snímanou scénu. Levnější přístroje zoomují motorkem (méně pohotové, méně přesné), u dokonalejších přístrojů ovládáme objektiv přímo. [22]

Důležitý je rozsah zoomu, tedy poměr mezi nejkratší a nejdelší ohniskovou vzdáleností. Čím je tento rozsah větší, tím rozmanitější úlohy s daným objektivem zvládneme. Běžné zoomy mají rozsah 1:3 až 5. Existují však i „ultrazoomy“ s rozsahem 1:10 a větším. Jsou velmi pohotové, mohou nahradit druhý objektiv. Často však u nich narážíme na jiná omezení (značné rozměry a váha, menší světelnost, větší zkreslení, horší ostrost, atd.). [22]

3. Vymezení cílů práce

Hlavním cílem práce je konstrukční návrh kamerového jeřábu s elektrickým pohonem kamerové hlavy. Kamerový jeřáb se bude moci využít na natáčení jak v exteriéru, tak i v interiéru (bude mít multifunkční podvozek). Rameno bude pevné, složené ze segmentů, vyvážené protizávažím. Pohyb ramene jeřábu bude manuální – obsluha stojí na kratší straně ramene. Pohybem ramene nahoru, dolů, doleva, doprava obsluha ovládá pohyb kamery na druhém konci ramene (pohyby jsou zrcadlově obrácené díky ose otáčení na čepu základny). Na kamerový jeřáb půjde přimontovat úchyt pro náhledový monitor, který má obsluha k dispozici (k zachycení správné kompozice scény). Kamerová hlava se bude ovládat pomocí ovládacího pultu, na kterém lze měnit otáčky.

Po konzultaci s vedoucím práce byly stanoveny následující dílčí cíle a požadavky:

- Brát ohled na snadnou montáž a demontáž jeřábu
- Jednoduchá údržba
- Nízká výrobní cena
- Rameno segmentové s délkou výložního ramene 5,2 metrů
- Maximální nosnost kamerové hlavy 5 kg
- Kamerová hlava s 2 stupni volnosti, osazena stejnosměrnými elektromotory s možností regulace rychlosti otáček
- Dostatečná ovladatelnost
- Udržování stejné polohy kamery
- Multifunkční podvozek s možností aretace pohybu a směru
- Řešení kabeláže

4. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty

4.1. Volba konstrukčního materiálu

Vzhledem k požadavku na nízkou cenu a hmotnost celé konstrukce jsem zvolil jako konstrukční materiál hliníkovou slitinu. Vyznačuje se téměř třetinovou hmotností oproti běžné oceli a také vysokou pevností s dobrou obrobitelností a svařitelností.

Zvolil jsem hliníkovou slitinu AlMgSi, dle normy EN 573-3 AW-6060, třída T5 (ČSN 42 4401). Z této slitiny se vyrábí trubkové, čtvercové i obdélníkové uzavřené profily, které jsou v návrhu použity.

Následující tabulka udává chemické složení v hmotnostních procentech:

Tab. 1.: Chemické složení hliníkové slitiny AlMgSi [24]

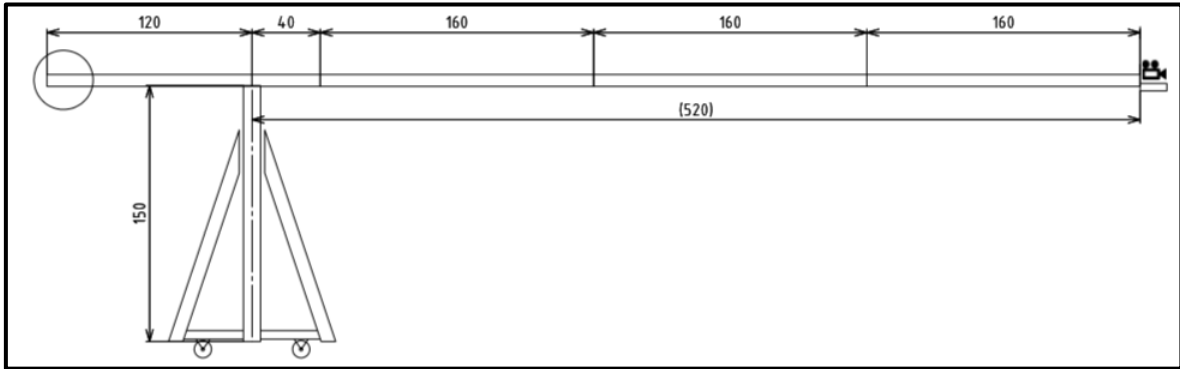
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ostatní
min	0,3	0,05	-	-	0,4	-	-	0,05	-
max	0,7	0,4	0,1	0,1	0,9	0,1	0,2	0,2	0,15

Mechanické vlastnosti:

Mez pevnosti	$R_m = 245 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$,
Mez kluzu	$R_{p0,2} = 195 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$,
Tažnost	$A_5 = 10\%$,
Hustota	$\rho = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (při 20°C),
Modul pružnosti v tahu	$E = 70 \cdot 10^9 \text{ Pa}$. [23]

4.2. Varianta A

V této variantě jsem zvolil rozebíratelné segmentové rameno. Rameno se bude skládat ze čtyř segmentů o rozměrech 80x80x4 mm a délce 1600 mm. Jednotlivé segmenty budou k sobě připevněny pomocí šroubů přišroubovaných na přivařených přírubách na konci profilu. Rozměr kratšího ramene s protizávažím byl zvolen s ohledem na dostatečnou manipulaci.



Obr. 17.: Segmentové pevné rameno – předběžný návrh

4.2.1. Výpočet maximálního napětí působícího v rameni jeřábu

Pro zjednodušení výpočtu jsem nahradil kloubovou podpěru vetknutím o celkové délce 5,2 metru. Na konci nosníku působí síla od tíhy kamerové hlavy a samotné kamery. Kamerová hlava reálně váží 6,48 kg a maximální přípustná hmotnost kamery činí 5 kg. Skokové změny spojitěho zatížení v místech spoje (příruby) jsem zanedbal, vzhledem v porovnání k celkové délce ramene.

Výsledná hmotnost působící na konci ramene:

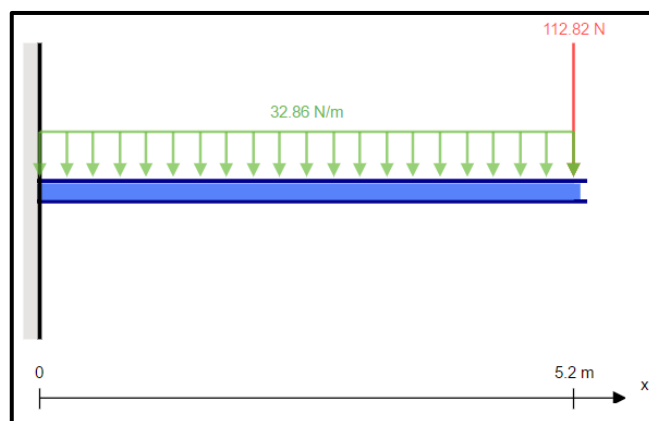
$$m_{kk} = m_k + m_{ka} = 6,48 + 5 = 11,48 \text{ kg} \quad (1)$$

Gravitační síla od kamery a kamerové hlavy:

$$F_k = m_{kk} \cdot g = 11,48 \cdot 9,81 = 112,82 \text{ N} \quad (2)$$

Vlastní spojitě zatížení:

$$q = m_p \cdot g = 3,35 \cdot 9,81 = 32,86 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \quad (3)$$



Obr. 18.: Zjednodušený vetknutý nosník

Celková hmotnost ramene:

$$m_{ramene} = m_p \cdot l = 3,35 \cdot 6,4 = 21,44 \text{ kg} \quad (4)$$

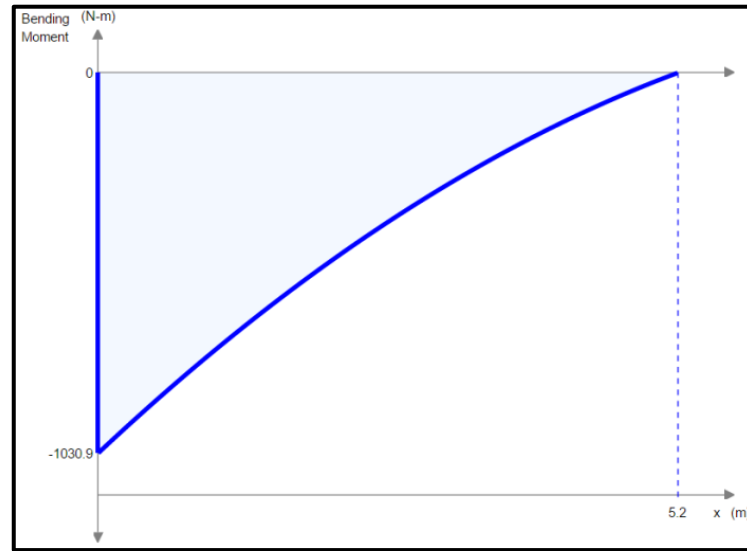
Obecný vzorec pro ohybový moment:

$$M_o = -F_k \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2 \quad (5)$$

Maximální ohybový moment bude v místě vetknutí, tedy ve vzdálenosti 5,2 m.

Dosazení vzdálenosti do rovnice (5):

$$M_{omax} = -112,82 \cdot 5,2 - \frac{1}{2} \cdot 32,86 \cdot 5,2^2 = -1030,93 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Obr. 19.: Průběh ohybového momentu

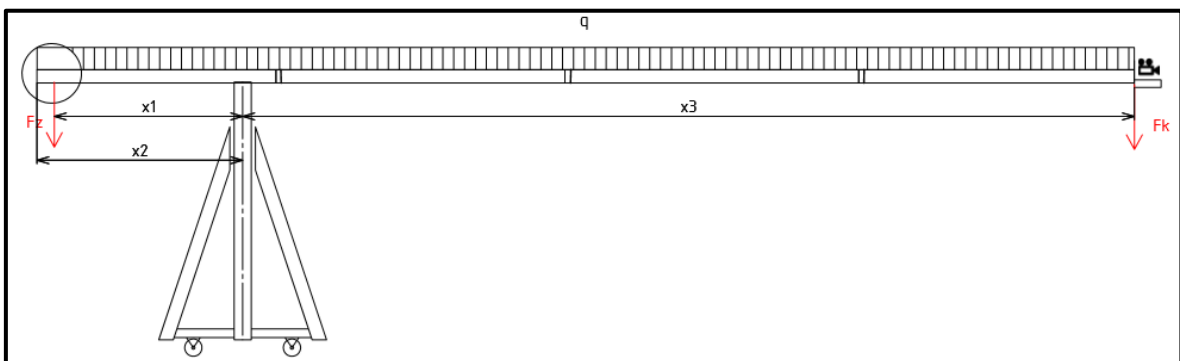
Maximální ohybové napětí:

$$\sigma_{omax} = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{M_{omax}}{\frac{A^4 - a^4}{12 \cdot \frac{A}{2}}} = \frac{1030,93 \cdot 10^3}{\frac{2 \cdot (80^4 - 72^4)}{12 \cdot 80}} = 35,13 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (6)$$

4.2.2. Hmotnost protizávaží z momentové podmínky

Hmotnost protizávaží se spočítá pomocí momentové podmínky k ose sloupu.

Chceme totiž, aby těžiště ramene bylo právě v ose sloupu.



Obr. 20.: Schéma pro výpočet protizávaží

Momentová podmínka:

$$\sum M = 0 \quad (7)$$

Rozepsání momentové podmínky:

$$F_z \cdot x_1 + \frac{q \cdot x_2^2}{2} - F_k x_3 - \frac{q \cdot x_3^2}{2} = 0 \quad (8)$$

Vyjádření F_z z rovnice (8):

$$F_z = \frac{\frac{q}{2}(x_3^2 - x_2^2) + F_k x_3}{x_1} = \frac{\frac{32,86}{2}(5,2^2 - 1,2^2) + 112,82 \cdot 5,2}{1,1} = 915,7 \text{ N} \quad (9)$$

Hmotnost protizávaží:

$$m_z = \frac{F_z}{g} = \frac{915,7}{9,81} = 93,34 \text{ kg} \quad (10)$$

4.2.3. Průhyb na konci ramene

Průhyb na konci ramene spočteme pomocí využití Mohrova integrálu pro průhyb, tedy $l = 5,2 \text{ m}$.

Kvadratický moment průřezu:

$$J = \frac{A^4 - a^4}{12} = \frac{80^4 - 72^4}{12} = 1\,173\,845,33 \text{ mm}^4 \quad (11)$$

Průhyb na konci ramene:

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{E \cdot J} \int_{(l)} M_o(x) \cdot m_o(x) \cdot dx = \frac{1}{E \cdot J} \int_0^l \left(F_k \cdot x + \frac{q \cdot x^2}{2} \right) \cdot x \cdot dx = \\ &= \frac{8F_k l^3 + 3q l^4}{24EJ} \end{aligned} \quad (12)$$

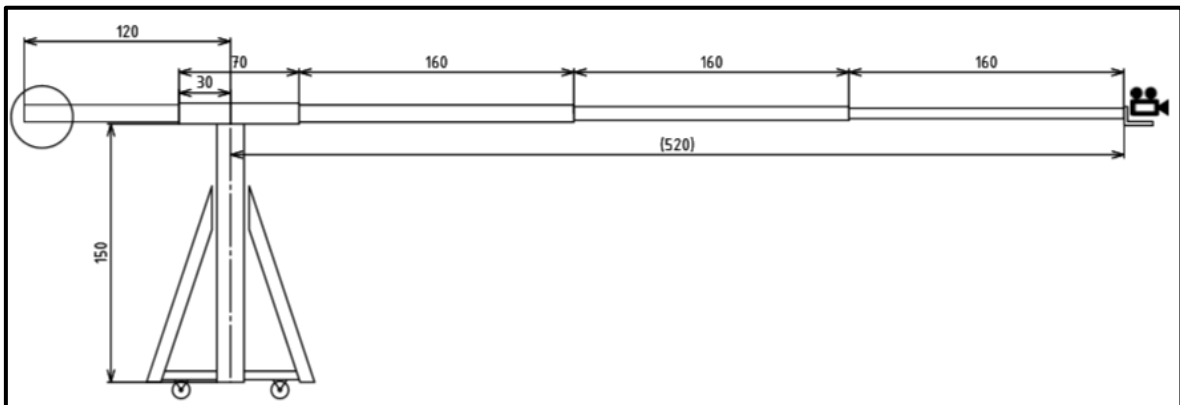
Číselné dosazení do rovnice (12):

$$v = \frac{8 \cdot 112,82 \cdot 5,2^3 + 3 \cdot 32,86 \cdot 5,2^4}{24 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot 1,17 \cdot 10^{-6}} = 0,10123 \text{ m} = 101,23 \text{ mm}$$

4.3. Varianta B

U varianty B délka ramene i segmentů zůstává stejná, jako je ve variantě A s tím rozdílem, že segmenty se budou postupně zmenšovat. Segmenty budou k sobě přišroubovány přes navařené příruby na konci segmentů. Jsou použity čtvercové profily o tloušťce stěny 4 mm, průřezu 100x100, 80x80, 60x60, 40x40 mm a o délce 1600 mm

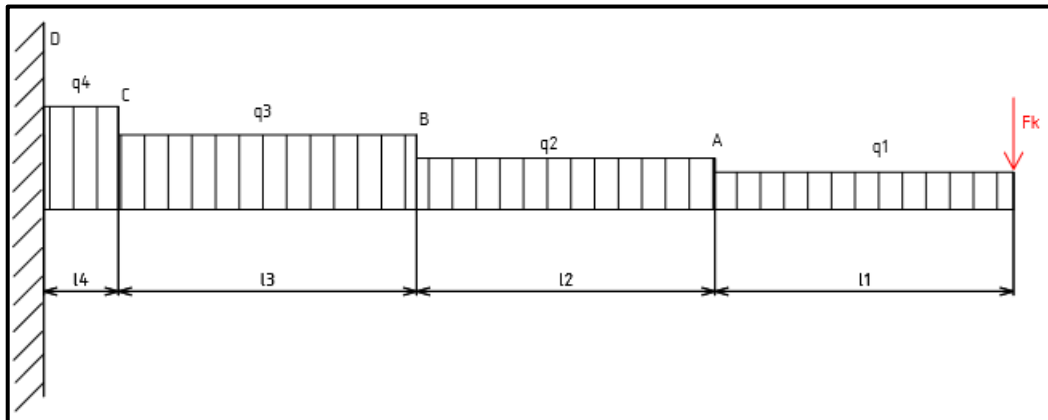
kromě jedné části profilu 80x80, kde bude délka 900 mm a u profilu 100x100 bude délka 700 mm.



Obr. 21.: Segmentové rameno se zmenšujícím se profilem

4.3.1. Výpočet maximálního napětí působícího v rameni

Provedeme zjednodušení celého nosníku tak, že si v místě čepu zavedeme vetknutí. Postupujeme tak, že si nejdříve spočteme spojitá zatížení, kvadratické momenty průřezů a moduly průřezu v ohybu pro jednotlivé profily, ze kterých se pak vypočítají jednotlivé momenty a následně napětí.



Obr. 22.: Zjednodušení na vetknutý nosník s vyznačenými spojitými zatíženími

Vzorový výpočet pro profil č. 1 (40x40x4 mm):

Vlastní spojitá zatížení:

$$q = m_p \cdot g = 1,56 \cdot 9,81 = 15,3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \quad (13)$$

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{A^4 - a^4}{6 \cdot A} = \frac{40^4 - 32^4}{6 \cdot 40} = 6297,6 \text{ mm}^3 \quad (14)$$

Kvadratický moment průřezu:

$$J = \frac{A^4 - a^4}{12} = \frac{120^4 - 110^4}{12} = 125\,952 \text{ mm}^4 \quad (15)$$

Pro lepší přehlednost jsou výsledky uspořádány v následující tabulce:

Tab. 2.: Jednotlivé parametry zvolených profilů

	Profil 4 100x100x4mm	Profil 3 80x80x4mm	Profil 2 60x60x4mm	Profil 1 40x40x4mm
m_p [kg/m]	4,18	3,35	2,38	1,56
q [N.m ⁻¹]	41	32,86	23,35	15,3
W_o [m ³]	$4,73 \cdot 10^{-5}$	$2,93 \cdot 10^{-5}$	$1,57 \cdot 10^{-5}$	$0,63 \cdot 10^{-5}$
J [m ⁴]	$2,36 \cdot 10^{-6}$	$1,17 \cdot 10^{-6}$	$0,47 \cdot 10^{-6}$	$0,13 \cdot 10^{-6}$
l_i [m]	0,7	2,5	1,6	1,6

Celková hmotnost ramene:

$$m = \sum_{i=1}^4 m_{pi} \cdot l_i = 0,7 \cdot 4,18 + 2,5 \cdot 3,35 + 1,6 \cdot 2,38 + 1,6 \cdot 1,56 = \quad (16)$$

$$= 17,61 \text{ kg}$$

Vzorový příklad pro výpočet ohybového momentu a napětí v bodě D (vliv přírub je vzhledem k celkové délce ramene zanedbán).

$$M_o = F_k \cdot l_c + q_1 l_1 \left(l_4 + l_3 + l_2 + \frac{l_1}{2} \right) + q_2 l_2 \left(l_4 + l_3 + \frac{l_2}{2} \right) + q_3 l_3 \left(l_4 + \frac{l_3}{2} \right) \quad (17)$$

$$+ q_4 l_4 \left(\frac{l_4}{2} \right)$$

Číselné dosazení do rovnice (17):

$$M_o = 112,82 \cdot 5,2 + 15,3 \cdot 1,6 \cdot (0,4 + 1,6 + 1,6 + 0,8)$$

$$+ 23,35 \cdot 1,6 \cdot (0,4 + 1,6 + 0,8) + 32,86 \cdot 1,6 \cdot (0,4 + 0,8)$$

$$+ 41 \cdot 0,4 \cdot (0,2) = 865,36 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Napětí v bodě D:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{865,36}{4,73 \cdot 10^{-5}} = 18,3 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (18)$$

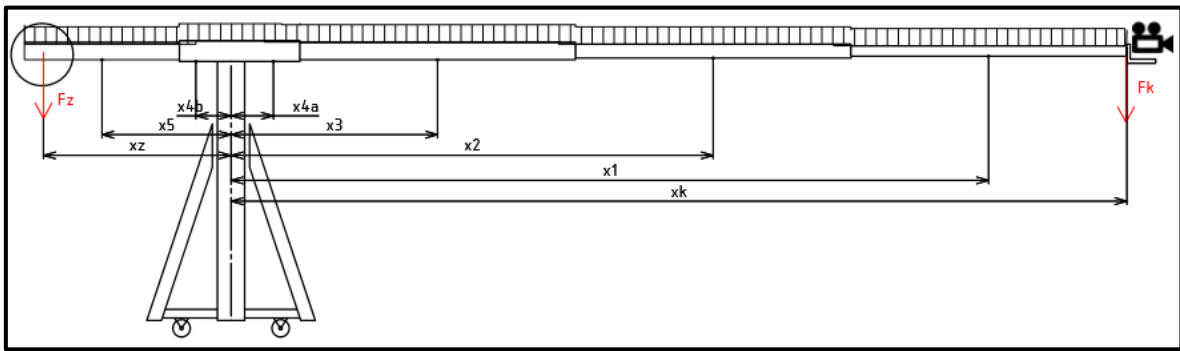
Pro lepší přehlednost jsou výsledky uspořádané v následující tabulce:

Tab. 3.: Výsledné ohybové momenty a napětí v jednotlivých bodech

Bod	D	C	B	A
M_o [Nm]	865,36	763,97	414,37	182,27
σ_o [N.mm ⁻²]	18,3	26,05	26,4	28,94

4.3.2. Hmotnost protizávaží

Hmotnost protizávaží se vypočítá z momentové podmínky, kde suma všech momentů se musí rovnat nule.



Obr. 23.: Schéma pro výpočet protizávaží

Momentová podmínka:

$$\sum M = 0 \quad (19)$$

Rozepsání rovnice (19):

$$F_z \cdot x_z + q_3 l_3 x_5 + \frac{q_4 \cdot x_{4b}^2}{2} - \frac{q_4 \cdot x_{4a}^2}{2} - q_3 l_3 x_3 - q_2 l_2 x_2 - q_1 l_1 x_1 - F_k x_k = 0 \quad (20)$$

Vyjádření F_z z rovnice (20):

$$F_z = \frac{q_4 (x_{4a}^2 - x_{4b}^2) - q_3 l_3 x_5 + q_3 l_3 x_3 + q_2 l_2 x_2 + q_1 l_1 x_1 + F_k x_k}{x_z} \quad (21)$$

Číselné dosazení do rovnice (21):

$$F_z = \frac{\frac{41}{2} (0,4^2 - 0,3^2) - 32,86 \cdot 0,9 \cdot 0,6 + 32,86 \cdot 1,6 \cdot 1,2}{1,1} + \frac{23,35 \cdot 1,6 \cdot 2,8 + 15,3 \cdot 1,6 \cdot 4,4 + 112,82 \cdot 5,2}{1,1} = 845,77 \text{ N}$$

Hmotnost protizávaží:

$$m_z = \frac{F_z}{g} = \frac{845,77}{9,81} = 86,22 \text{ kg} \quad (22)$$

4.3.3. Průhyb na konci ramene

Výpočet průhybu je značně zdlouhavý a proto napíši jen obecné řešení a výsledek, bez číselného dosazení.

Mohrův integrál pro výpočet celkového průhybu:

$$v = \frac{1}{EJ} \sum_{i=1}^5 \int_{l_i}^{l_{(i+1)}} M_{oi} \cdot m_{oi} \cdot dx = \frac{1}{EJ_i} \left\{ \int_0^{l_1} M_{o1} \cdot m_{o1} dx + \int_0^{l_1} M_{o1} \cdot m_{o1} dx \right. \\ \left. + \int_{l_1}^{l_2} M_{o2} \cdot m_{o2} \cdot dx + \int_{l_2}^{l_3} M_{o3} \cdot m_{o3} \cdot dx + \int_{l_3}^{l_4} M_{o4} \cdot m_{o4} \cdot dx \right\} \quad (23)$$

Výpočet jednotlivých momentů a jednotkových momentů:

$$M_{o1} = -Fx - \frac{qx^2}{2} \quad (24)$$

$$m_{o1} = -1x \quad (25)$$

$$M_{o2} = -F(x - l_1) - \frac{q(x - l_1)^2}{2} \quad (26)$$

$$m_{o2} = -1(x - l_1) \quad (27)$$

$$M_{o3} = -F(x - l_1 - l_2) - \frac{q(x - l_1 - l_2)^2}{2} \quad (28)$$

$$m_{o3} = -1(x - l_1 - l_2) \quad (29)$$

$$M_{o4} = -F(x - l_1 - l_2 - l_3) - \frac{q(x - l_1 - l_2 - l_3)^2}{2} \quad (30)$$

$$m_{o4} = -1(x - l_1 - l_2 - l_3) \quad (31)$$

Výsledný průhyb se vypočte:

$$v = \frac{1}{E} \left\{ \frac{1}{24J_1} (Fl_1^3 + 3q_1l_1^4) + \frac{1}{24J_2} (l_1 - l_2)^3 (3q(l_1 - l_2) - 8F) \right. \\ \left. + \frac{1}{24J_3} (l_2 - l_3) (3q(2l_1^2 + 2l_1(l_2 - l_3) + (l_2 - l_3)^2)(2l_1 + l_2 - l_3) \right. \\ \left. - 8F(3l_1^2 + 3l_1(l_2 - l_3) + (l_2 - l_3)^2)) \right. \\ \left. + \frac{1}{24J_4} (l_3 - l_4) (3q(2l_1 + 2l_2 + l_3 - l_4)(2l_1^2 - 2l_4(l_1 + l_2 + l_3) + 4l_1l_2 \right. \\ \left. + 2l_1l_3 + 2l_2^2 + 2l_2l_3 + l_3^2 + l_4^2) \right. \\ \left. - 8F(3l_1^2 + 3l_1(2l_2 + l_3 - l_4) + 3l_2^2 + 3l_2(l_3 - l_4) + (l_3 - l_4)^2)) \right\} \quad (32)$$

Po dosazení:

$$v = 0,234 \text{ m} = 214,42 \text{ mm} \quad (33)$$

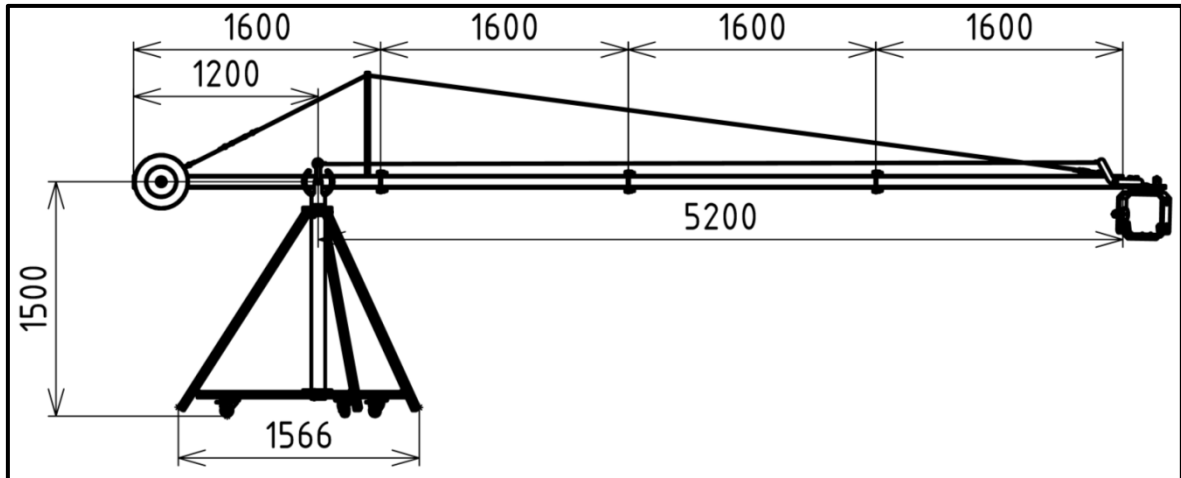
4.4. Zhodnocení variant řešení

Celková hmotnost působící na sloup činí u varianty A 114,78 kg u varianty B 103,83 kg. U obou variant průhyb na konci ramene vyšel veliký. U varianty A je průhyb konce ramene 101,23 mm a u varianty B je 214,42 mm. Z důvodu zachování dostatečné tuhosti celého jeřábu jsem zvolil jako lepší variantu A. Variantu A jsem dále rozpracoval v konstrukčním řešení.

Tab. 4.: Porovnání hodnot obou variant řešení

Parametry	Napětí [N·mm ⁻²]	Hmotnost protizávaží [kg]	Průhyb [mm]
A	35,13	93,34	101,23
B	28,94	86,22	214,42

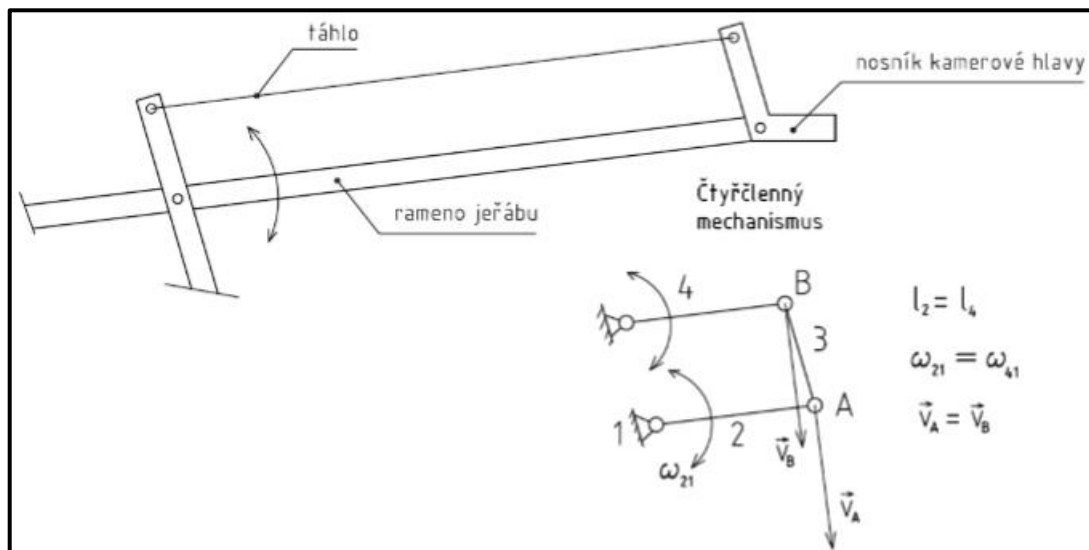
5. Konstrukční řešení



Obr. 24.: Návrh základních rozměrů kamerového jeřábu

5.1. Kamerová hlava

Kamerová hlava je s ramenem spojena nosníkem tvaru L. Mezi příčkou středového sloupu a nosníku tvaru L je nataženo ocelové lanko o průměru 3 mm s napínákem a karabinou, které spolu s ramenem kamerového jeřábu tvoří tzv. čtyřčlenný mechanismus. Čtyřčlenný mechanismus (Obr. 25) udržuje kamerovou hlavu stále ve stejné poloze.



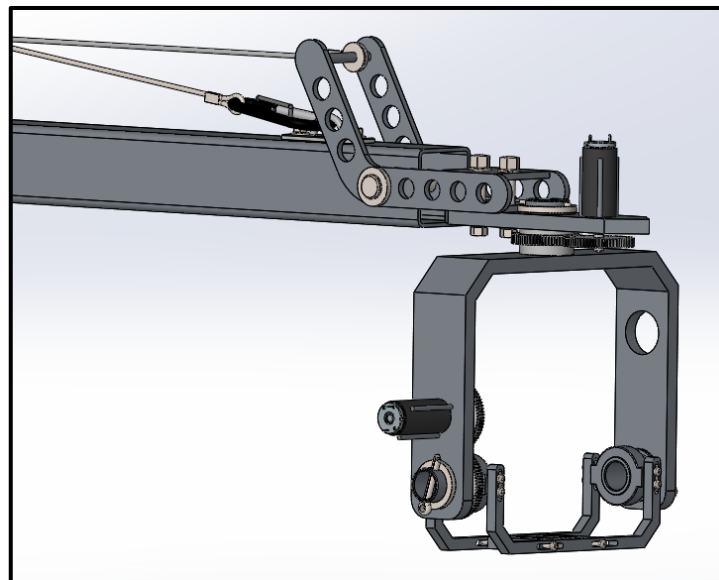
Obr. 25.: Čtyřčlenný mechanismus [25]

Z obrázku (Obr. 25) plyne, že pokud jsou délky ramen 2 a 4 stejně dlouhé a rovnoběžné, pak jejich úhlová rychlost a vektor rychlosti jsou stejné. Poté tedy i rameno 3 (v našem případě nosník tvaru L) se pohybuje stejnou úhlovou i vektorovou rychlostí.

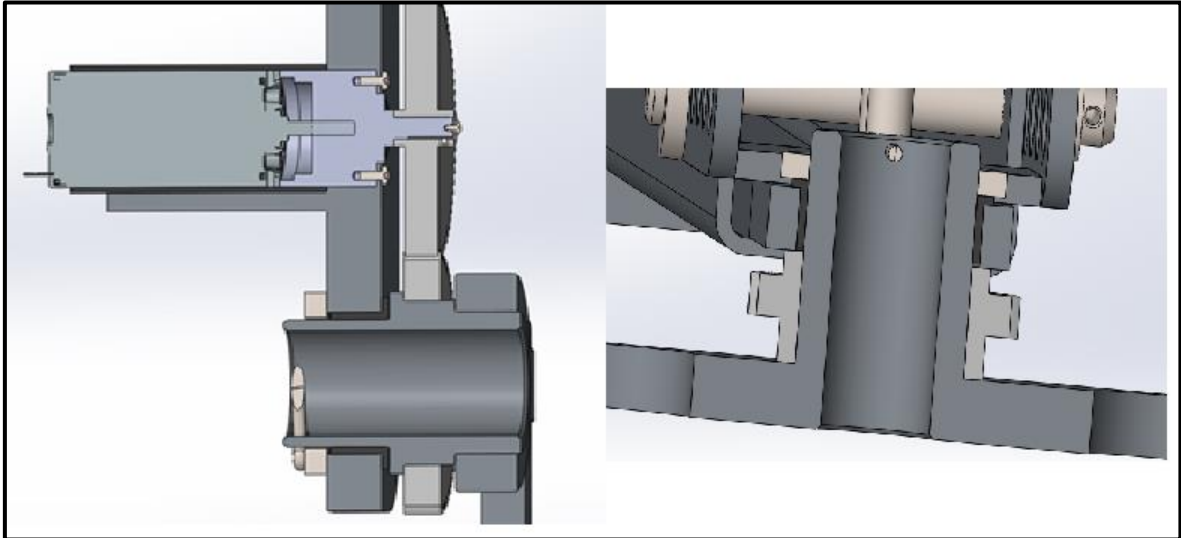
Tento princip zajišťuje stálou horizontální polohu kamerové hlavy, zatímco se s ramenem může libovolně naklápět. [25]

Kamerová hlava obsahuje platformu pro připojení rychloupínací kamerové destičky. Platforma je výškově a délkově polohovatelná. Polohovatelnost umožňuje upnutí více typů kamer či fotoaparátů a také slouží k vyvážení kamerové hlavy. Pohon naklápění kamerové hlavy zajišťují dva elektromotory. První zajišťuje rotaci kolem své svislé osy, druhý rotaci kolem své vodorovné osy. Moment je přenášen přes čelní ozubené soukolí, kde hnací kolo je zajištěno proti pootočení „červíkem“ a kolo hnané je spojeno s hřídelí pomocí nalisování. Hladké a plynulé otáčení kamerové hlavy zajišťují samomazná kluzná ložiska z polyamidu.

Spojení kamerové hlavy k rameni je provedeno pomocí nosníku tvaru L. Kamerová hlava je přišroubována pomocí dvou šroubů M12 k nosníku tvaru L. Na příčce nosníku L je navařena matice pro zamezení pohybu lanka. Rameno spolu s nosníkem jsou spojeny pomocí čepu, který je pojištěn podložkou a závlačkou. Je zde použit stejný čep jako u spojení otočného středu s ramenem, tedy kontrolní výpočty se nemusejí dělat vzhledem k působení nižších sil. Toto spojení bylo navrženo s ohledem na rychlou montáž a demontáž při častém přemisťování mezi různými lokacemi.



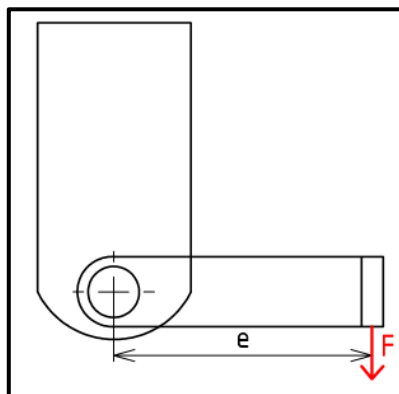
Obr. 26.: Kamerová hlava uchycená nosníkem k rameni



Obr. 27.: Konstrukce naklápění a otáčení kamerové hlavy

5.1.1. Návrh pohonu kamerové hlavy

Kamerová hlava se skládá ze dvou elektromotorů zajišťující otáčení a naklápění kamery kolem dvou os. Kamera se bude vždy montovat tak, aby kamerová hlava byla vyvážená. Motor volím stejnosměrný, kterým lze pouhou změnou napětí regulovat rychlost otáček. Motor je vybaven permanentními magnety, proto je možná i reverzace chodu pouhým přepólováním. Ke zvýšení kroučícího momentu je motor vybaven planetovou převodovkou. K ovládní motorů bude použit zdroj o napětí 9 V.



Obr. 28.: Působení sil na rameni

Výpočet kroučícího momentu:

$$M_k = F_{ska} \cdot e = (m_s + m_{ka}) \cdot g \cdot e = (0,34 + 5) \cdot 9,81 \cdot 0,0587 = 3,08 \text{ Nm} \quad (34)$$

Potřebný výkon elektromotoru pro zvolený předběžný počet výstupních otáček:

$$P = \frac{M_k \cdot n_2}{9550 \cdot \eta_{celk}} = \frac{3,08 \cdot 14}{9550 \cdot 0,95} = 0,00475 \text{ kW} = 4,75 \text{ W} \quad (35)$$

Účinnost převodu:

$$\eta_{celk} = \eta_{př} \cdot \eta_{sou} = 0,97 \cdot 0,98 = 0,9506 \quad (36)$$

Z potřebného výkonu jsem v katalogu vybral motor, jehož parametry jsem vypsal do následující tabulky.

Tab. 5.: Specifikace motoru Maxon A-max 32 [26]

Jmenovitý výkon	P = 15 W
Maximální otáčky	$n_{max} = 6000 \text{ min}^{-1}$
Jmenovité napětí	U = 9 V
Maximální kroutící moment	$M_{max} = 35 \text{ mNm}$

K motoru byla zvolena převodovka s parametry uvedené v Tab.6.

Tab. 6.: Parametry převodovky Maxon GP 32 A [26]

Maximální vstupní otáčky	$n_{vst_max} = 6000 \text{ min}^{-1}$
Výstupní moment	$M_{výstup} = 0,75 - 4,5 \text{ Nm}$
Zvolený převodový poměr	$i_c = 411$

Výstupní reálné otáčky na hnaném kole:

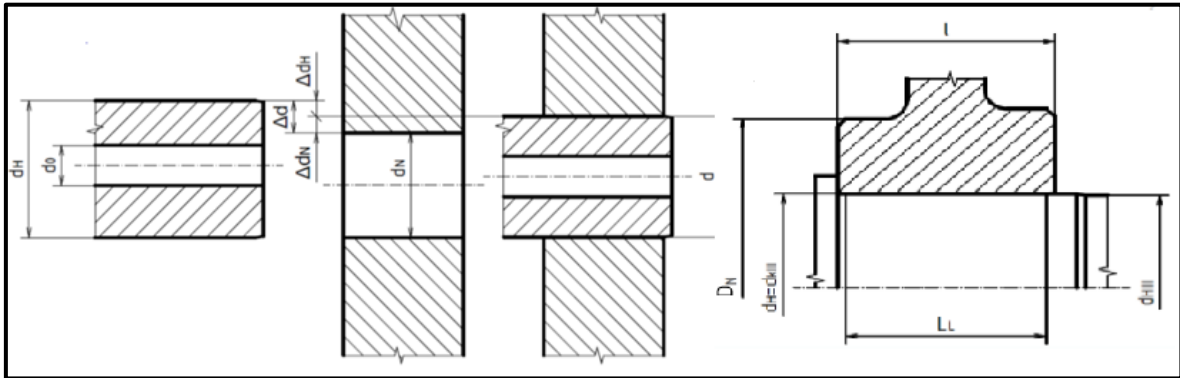
$$n_2 = \frac{n_{max}}{i_c} \cdot \eta_{celk} = \frac{6000}{411} \cdot 0,9506 = 13,88 \text{ min}^{-1} \quad (37)$$

Skutečný kroutící moment na výstupu:

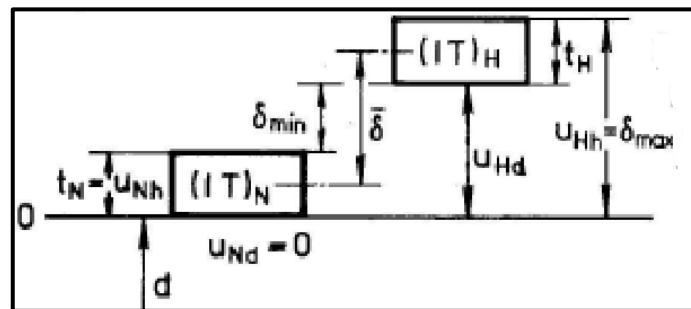
$$M_{k_skut} = M_{výstup} \cdot \eta_{sou} = 4,5 \cdot 0,98 = 4,41 \text{ Nm} \quad (38)$$

S touto převodovkou jsou maximální otáčky na hnacím kole $13,88 \text{ min}^{-1}$, to je přibližně 4,3 s na jednu otáčku. Pro nastavení nižších otáček musíme použít regulátor otáček. Zvolil jsem navržený regulátor podle katalogu od firmy Maxon: ESCON 36/2 DC, 4-Q Servocontroller, 10-36 V, 2A/4A [26]. Ovládací pult bude mít v sobě zabudovaný joystick pro ovládání pohybu hlavy a dva regulátory otáček motorů – pro každý motor jeden.

5.1.2. Výpočet nalisování



Obr. 29.: Schéma nalisování s rozměry [27]



Obr. 30.: Toleranční pole pro přesah [27]

a) Výpočet nalisování pro ozubené kolo

Minimální tlak ve spoji:

$$p_{min} = \frac{k \cdot M k_{k_skut}}{\pi \cdot d_H \cdot L_L \cdot f \cdot \frac{d_H}{2}} = \frac{1,1 \cdot 4410}{\pi \cdot 45 \cdot 10 \cdot 0,12 \cdot \frac{45}{2}} = 1,27 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (39)$$

Výpočet konstant:

$$C_N = \frac{D_N^2 + d_H^2}{D_N^2 - d_H^2} = \frac{67,49^2 + 45^2}{67,49^2 - 45^2} = 2,6 \quad (40)$$

$$C_H = \frac{d_H^2 + d_0^2}{d_H^2 - d_0^2} = \frac{45^2 + 29^2}{45^2 - 29^2} = 2,42 \quad (41)$$

Minimální přesah:

$$\begin{aligned} \Delta d_{min} &= p_{min} \cdot d_H \cdot \left(\frac{C_N + \mu_N}{E_N} + \frac{C_H - \mu_H}{E_H} \right) = \\ &= 1,27 \cdot 45 \cdot \left(\frac{2,6 + 0,3}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{2,42 - 0,33}{0,7 \cdot 10^5} \right) = 0,0025 \text{ mm} \end{aligned} \quad (42)$$

Výrobní přesah:

$$\Delta d_{wmin} = \Delta d_{min} + w = 0,0025 + 0,0066 = 0,0091 \text{ mm} \quad (43)$$

Stržený výrobní přesah:

$$w = 5,5 \cdot (Ra^H + Ra^N) = 5,5 \cdot (0,4 + 0,8) = 0,0066 \text{ mm} \quad (44)$$

Pomocí tabulek volím uložení $\phi 45 \text{ H7/s6}$ pro které:

$$\delta_{min} = 0,018 \text{ mm} \quad (45)$$

Pro zvolené uložení musí být splněna podmínka:

$$\delta_{min} \geq \Delta d_{wmin} \quad (46)$$

Stanovení maximálního tlaku ve spoji:

$$\Delta d_{wmax} = \delta_{max} = 0,059 \text{ mm} \quad (47)$$

$$\Delta d_{max} = \delta_{max} - w = 0,059 - 0,0066 = 0,0524 \text{ mm} \quad (48)$$

$$p_{max} = \frac{\Delta d_{max}}{d_H \cdot \frac{1}{E} \cdot (C_N + C_H)} = \frac{0,0524}{45 \cdot \frac{1}{2,1 \cdot 10^5} \cdot (2,6 + 2,42)} = 48,71 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (49)$$

Pevnostní kontrola náboje podle HMH:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_3} \leq \sigma_D = \frac{\sigma_{kt}}{k_{\sigma min}} \quad (50)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{126,65^2 + 48,71^2 + 126,65 \cdot 48,71} = 156,79 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\sigma_D = \frac{325}{1,1} = 295,45 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\sigma_1 = C_N \cdot p_{max} = 2,6 \cdot 48,71 = 126,65 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (51)$$

$$\sigma_2 = 0 \quad (52)$$

$$\sigma_3 = -p_{max} = -48,71 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (53)$$

Lisovací síla:

$$F_L = \pi \cdot d_H \cdot L_L \cdot p_{max} \cdot f = \pi \cdot 45 \cdot 10 \cdot 48,71 \cdot 0,12 = 8263,46 \text{ N} \quad (54)$$

b) Výpočet nalisování pro kolo spodku kamerové hlavy

Minimální tlak ve spoji:

$$p_{min} = \frac{k \cdot M_{k,skut}}{\pi \cdot d_H \cdot L_L \cdot f \cdot \frac{d_H}{2}} = \frac{1,1 \cdot 4410}{\pi \cdot 39 \cdot 17 \cdot 0,05 \cdot \frac{39}{2}} = 2,39 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (55)$$

Výpočet konstant:

$$C_N = \frac{D_N^2 + d_H^2}{D_N^2 - d_H^2} = \frac{60^2 + 39^2}{60^2 - 39^2} = 2,46 \quad (56)$$

$$C_H = \frac{d_H^2 + d_0^2}{d_H^2 - d_0^2} = \frac{39^2 + 29^2}{39^2 - 29^2} = 3,47 \quad (57)$$

Minimální přesah:

$$\Delta d_{min} = p_{min} \cdot d_H \cdot \frac{1}{E} \cdot (C_N + C_H) = 2,39 \cdot 39 \cdot \frac{1}{0,7 \cdot 10^5} \cdot (2,46 + 3,47) = \quad (58)$$

$$= 0,0079 \text{ mm}$$

Výrobní přesah:

$$\Delta d_{wmin} = \Delta d_{min} + w = 0,0079 + 0,0066 = 0,0145 \text{ mm} \quad (59)$$

Stržený výrobní přesah:

$$w = 5,5 \cdot (Ra^H + Ra^N) = 5,5 \cdot (0,4 + 0,8) = 0,0066 \text{ mm} \quad (60)$$

Volím uložení $\phi 36 \text{ H7/s6}$

$$\delta_{min} = 0,018 \text{ mm} \quad (61)$$

Pro zvolené uložení musí být splněna podmínka:

$$\delta_{min} \geq \Delta d_{wmin} \quad (62)$$

Stanovení maximálního tlaku ve spoji:

$$\Delta d_{wmax} = \delta_{max} = 0,059 \text{ mm} \quad (63)$$

$$\Delta d_{max} = \delta_{max} - w = 0,059 - 0,0066 = 0,0524 \text{ mm} \quad (64)$$

$$p_{max} = \frac{\Delta d_{max}}{d_H \cdot \frac{1}{E} \cdot (C_N + C_H)} = \frac{0,0524}{39 \cdot \frac{1}{0,7 \cdot 10^5} \cdot (2,46 + 3,47)} = 15,86 \text{ Nmm}^{-2} \quad (65)$$

Pevnostní kontrola náboje podle HMH:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_3} \leq \sigma_D = \frac{\sigma_{Kt}}{k_{\sigma_{min}}} \quad (66)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{39,02^2 + 15,86^2 + 39,02 \cdot 15,86} = 48,91 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\sigma_D = \frac{195}{1,1} = 177,27 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\sigma_1 = C_N \cdot p_{max} = 2,46 \cdot 15,86 = 39,02 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (67)$$

$$\sigma_2 = 0 \quad (68)$$

$$\sigma_3 = -p_{max} = -15,86 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (69)$$

Lisovací síla:

$$F_L = \pi \cdot d_H \cdot L_L \cdot p_{max} \cdot f = \pi \cdot 39 \cdot 17 \cdot 15,86 \cdot 0,05 = 1651,72 \text{ N} \quad (70)$$

5.1.3. Kontrola na otláčení dutého hřídele

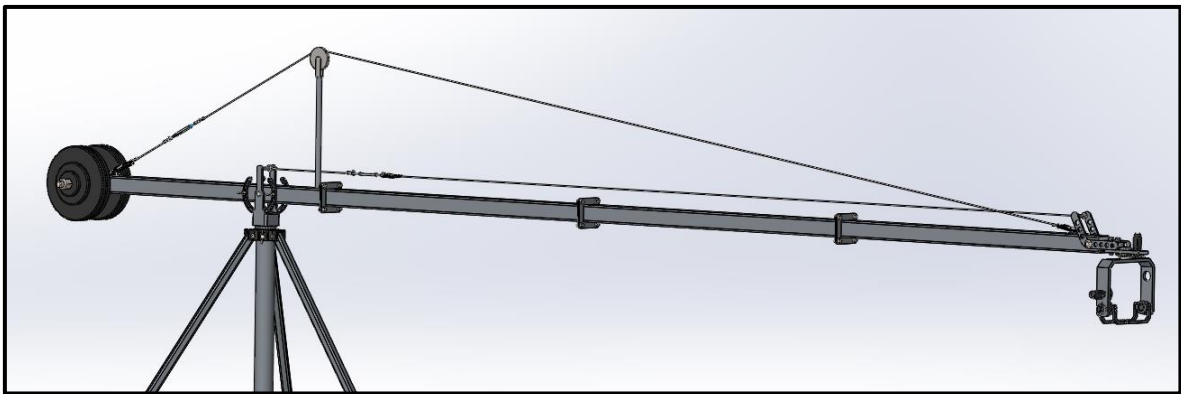
$$p = \frac{F_{ska}}{S} = \frac{(m_{ka} + m_s) \cdot g}{(d_H - d_0) \cdot b} = \frac{(0,34 + 5) \cdot 9,81}{(35 - 29) \cdot 15} = 0,58 \text{ MPa} \leq p_D \quad (71)$$

$$p_D = 10 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (72)$$

5.2. Rameno

Rameno je segmentové a je tvořeno čtyřmi moduly. Každý modul má rozměr 80x80x4 mm a délku 1600 mm. Moduly jsou použity stejného průřezu kvůli zachování dostatečné tuhosti celého ramene. Montáž a demontáž ramene je navržena tak, aby byla jednoduše smontovatelná a dala se snadno převážet.

Střední moduly jsou na obou koncích svařeny k deskám z hliníku s vyříznutým čtyřhranným otvorem pro prostrčení profilu, zatímco krajní moduly jsou svařeny jen na jednom konci. Desky slouží jako příruby a jsou spojeny pomocí šroubů M12. Na každé desce jsou umístěny 4 šrouby.



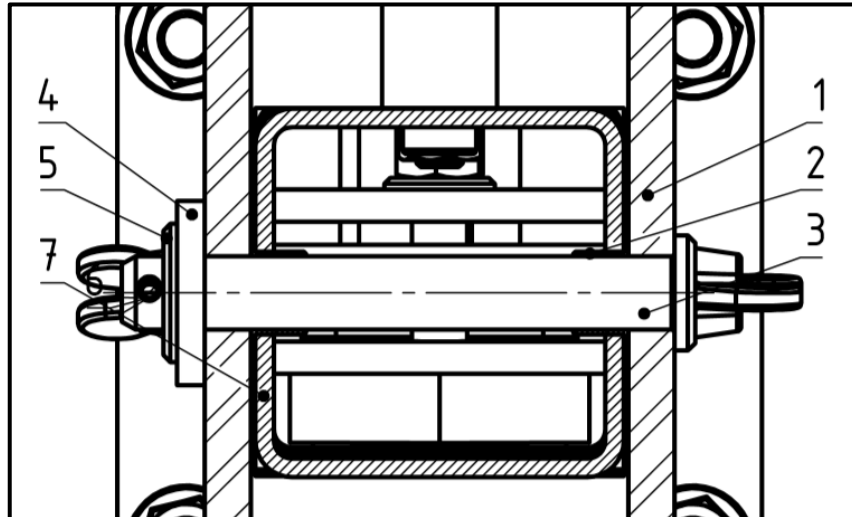
Obr. 31.: Konstrukce ramene

Naklápění ramene je zajištěno pomocí kluzných ložisek v místě spojení s otočným středem. V krajním modulu ramene je vyvrtána díra, do které jsou nasazena samomazná kluzná ložiska z polyamidu. Mezi ložisky je nasunut čep, který je pojištěn proti vypadnutí pomocí podložky a závlačky. Z důvodu velkého průhybu na konci ramene (přes 100 mm) musí být zavěšeno ocelové lanko.

Ocelové lanko jsem zvolil šestipramenné o průměru 3 mm vyrobené z vysokouhlíkové oceli. Jako podpěra pro lanko slouží šroubovatelná vzpěrná tyč, která je opatřena kladkou. K napnutí lanek slouží napínák, který je připevněn pomocí karabin.

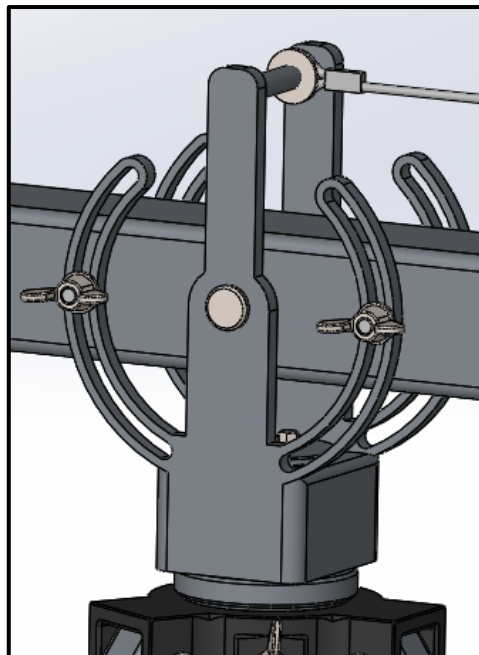
K vyvážení celého jeřábu je na konci ramene navařena závitová tyč o průměru 30 mm, sloužící k zavěšení protizávaží. Hmotnost protizávaží závisí na hmotnosti přidělaného fotoaparátu, popřípadě kamery. Pro 5 kg kameru je hmotnost protizávaží 93,34 kg.

Konstrukce uložení základny a ramene lze vidět na Obr. 32. Otočným středem {1} a ramenem {7} je vyvrtána díra pro čep {3}. Kluzná ložiska {2} vymezují vůli mezi otočným středem a ramenem. Čep je pojištěn pomocí podložek {4} a {5} a také závlačky {6}.



Obr. 32.: Konstrukce uložení základny a ramene

Pro aretaci naklonění ramene bylo zvoleno řešení, kde na hlavě otočného středu jsou vyfrézovány dvě drážky o šířce 11 mm ve tvaru kružnice. V rameni jsou vyvrtány dvě průchozí díry. Drážkou a ramenem je prostrčena závitová tyč M10 na jejímž konci je podložka s křídlovou maticí. Na spojovací příčce je navařena podložka sloužící k zabránění pohybu lanka.



Obr. 33.: Aretace naklonění polohy

5.2.1. Kontrola čepu v uložení ramene

Materiál čepu je konstrukční ocel 11600. Minimální mez kluzu je $R_{e\dot{c}} = 295 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ a dovolený tlak je $p_D = 120 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Průměr čepu je 16 mm.

Síla od ramene:

$$F = \frac{1}{2} \cdot m_{ramene} \cdot g = \frac{1}{2} \cdot 114,78 \cdot 9,81 = 562,99 \text{ N} \quad (73)$$

Kontrola na ohyb:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{32Fa}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 562,99 \cdot 0,001}{\pi \cdot 0,016^3} = 1,4 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} < R_{e\check{c}} \quad (74)$$

Kontrola na otláčení

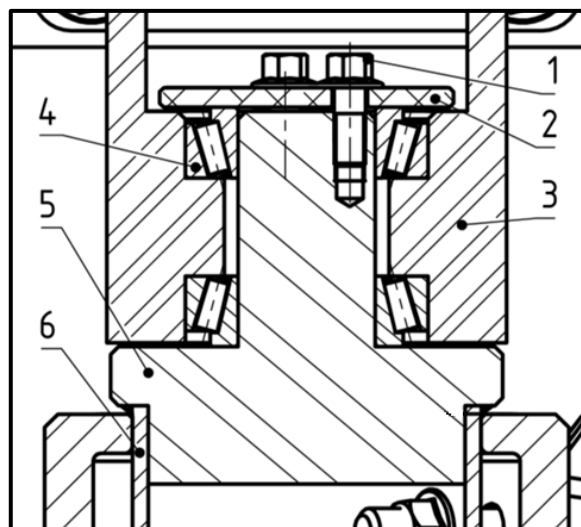
$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{d \cdot l_s} = \frac{562,99}{0,016 \cdot 0,01} = 3,52 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} < p_D \quad (75)$$

5.3. Konstrukce základny

Základna se skládá z otočného středu a pojízdného trojnohého stavivu. Jako základ jsou použity hliníkové profily. Roznožky jsou zhotoveny jako odlitky z litiny.

5.3.1. Otočný střed

Otáčení ramene kolem svislé osy (Obr. 34) zajišťují dvě kuželíková ložiska {4} uspořádaná do X. Domeček pro ložiska tvoří otočný střed {3}, jehož stojky ukotvují rameno a příčku pro ocelové lanko čtyřčlenného mechanismu. Předpětí v kuželíkových ložiskách zajišťuje kruhová deska {2}, která je přišroubována pomocí tří šroubů M8 {1} do nosného sloupu {5}, který je přivařen na trubku {6}.



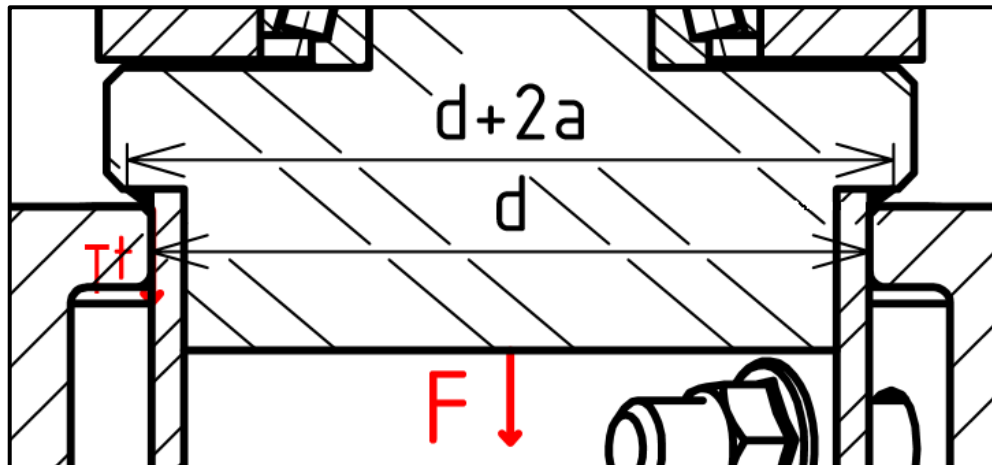
Obr. 34.: Uložení otočného středu

Aretace otáčení kolem svislé osy je řešená tak, že je navařená destička s otvorem na sloupek a na otočný střed. K zamezení otáčení dojde, pokud obě destičky spojíme čepem.

5.3.2. Volba ložiska

Předpokladem je, že jeřáb bude dokonale vyvážen, proto ložisko musí přenést axiální sílu 1125,99 N. Zvolil jsem jednořadé kuželíkové ložisko od firmy ZKL - 32007AX ($C_0 = 53,1$ kN, $C = 43$ kN). Není nutno ložisko počítat, zda vyhoví, vzhledem k velmi nízkým otáčkám.

5.3.3. Kontrola svaru



Obr. 35.: Kontrola navrženého svaru

Kontrola pro svar tloušťky 4 mm.

Dovolené napětí ve svaru:

$$\sigma_{Dsvar} = \frac{\sigma_{Kt}}{k} \cdot \alpha_{\tau \perp} = \frac{195}{1,5} \cdot 0,6 = 75 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (76)$$

Musí platit následující podmínka pro tečné napětí:

$$\tau_{lt} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} \cdot [(d + 2a_{sv})^2 - d^2]} \leq \sigma_{Dsvar} \quad (77)$$

Dosažení a porovnání zda navrhovaný svar vyhoví:

$$\tau_{lt} = \frac{1125,99}{\frac{\pi}{4} \cdot [(89 + 2 \cdot 4)^2 - 89^2]} = 0,96 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (78)$$

5.3.4. Pojízdný stativ

Stativ tvoří středový nosný sloup o průměru 89 mm, na který jsou přišroubovány dvě roztrojky. Do roztrojek jsou připevněny pomocí M10 šroubů tři trubky čtvercového profilu o rozměrech 40x40x4 mm a délce 1430 mm. Pro ukotvení slouží trubky stejného

čtvercového průřezu, ale s délkou 750 mm. Na kotevní trubky jsou přivařeny hliníkové destičky již s předvrtanými dírami, sloužící k připevnění pojezdových kol.



Obr. 36.: Pojízdny stativ

5.3.5. Výpočet pojízdnych kol

Mobilita je docílena koly. Jeřáb se bude používat v interiérech a exteriérech. Byl vybrán systém upevnění pomocí otočných kladek s brzdou, který umožňuje aretaci pohybu i směru. Problém změny terénu se bude řešit výměnou kol. V exteriéru se použijí kola s pneumatikou a duší. V interiéru kola s elastickou pryží sloužící k lepší tuhosti celého jeřábu.

Vzhledem k tomu, že celý jeřáb je vyvážen, tedy těžiště je ve středu nosného sloupu, nepočítám umístění kol vůči těžišti pomocí podmínky stability. Poloha kol je navržena s ohledem na pohodlnou ovladatelnost a lehkou složitelnost. Celková hmotnost, kterou musí kola unést je 153,84 kg.

Minimální nosnost kola se spočítá podle vzorce:

$$n_{kola} = \frac{m_c}{p_{kol}} = \frac{153,84}{3} = 51,28 \text{ kg} \quad (79)$$

Kola pro použití v interiéru jsem zvolil od společnosti ZVK (Obr. 37) s označením 100/GID. Kolo má nosnost 150 kg, průměr 100 mm, šířku 40 mm a výšku 128 mm. Kola pro použití v exteriéru jsem použil od společnosti Brickle (Obr. 38) s označením L-P 200R-ST. Kolo má nosnost 75 kg, průměr 200 mm, šířku 50 mm a výšku 235 mm. [29][30]



Obr. 37.: Kolo ZVK 100/GID [29]



Obr. 38.: Kolo Brickle L-P 200R-ST [30]

5.4. Řešení kabeláže

Ovládací a napájecí kabely jsou vedeny z elektromotorů a kamery otvory, které jsou vyvrtány v kamerové hlavě a jsou dále vedeny podél ramene až k ovládacímu pultu, který je zapojen do elektrické sítě. Kabely jsou podél ramena upevněny pomocí stahovací pásky na suchý zip.

6. Závěr

Úkolem této práce bylo navrhnutí konstrukčního návrhu kamerového jeřábu s délkou výložního ramene 5,2 metrů a nosnosti kamery do 5 kg. Hlavními požadavky byly, mimo technických parametrů také nízká ekonomická náročnost, snadná ovladatelnost, rychlá montáž a možnost transportace.

V bakalářské práci jsou optimálně vyřešeny všechny požadavky zadání. Díky použité konstrukci nezabere obsluze déle nežli hodinu času jeřáb demontovat a opět smontovat včetně seřízení kamerové hlavy. Velikosti jednotlivých rozebraných dílů nepřesahují délku 2 m a jejich hmotnost nepřesáhne nosnost obsluhy. Celý jeřáb lze tedy snadno naložit jedním člověkem i do osobního automobilu a přepravovat bez dalších speciálních nákladů. Délka ramene a rozsah pohybu kamery splnil zadání – 5,2 m a otáčení kamerové hlavy ve dvou stupních volnosti.

Splnění zadání jednoduchosti montáže a demontáže jeřábu: kamerová hlava se odšroubuje od ramene pomocí dvou šroubů. Samotné rameno, které je složené ze 4. segmentů se demontuje odšroubováním 12ks šroubů M12. Rameno a základna se demontují rozděláním středového čepu. Odšroubováním spodního šroubu na sloupu se celý podvozek složí.

Nosnost ramene jeřábu je ověřena výpočtem a splňuje podmínku přípustného zatížení 5kg. Použitá konstrukce přídatného lanka zajišťuje splnění podmínky udržování stejné polohy kamery (vodorovná poloha plošiny pro upínání kamery).

Pro pohon kamerové hlavy byly zvoleny dva stejnosměrné motory s planetovou převodovkou vyžadující napájení 9 V, které umožňují kamerové hlavě se otáčet ve dvou osách. Ovládací pult se zabudovaným joystickem pro ovládání pohybu hlavy a regulátorem otáček motorů kamerové hlavy bude součástí příslušenství dodávaného k jeřábu, stejně tak jako sada závaží a podpěr sloužící k zajištění stability jeřábu (závaží 20 kg, 5 kg, 1,5 kg, 0,5 kg).

Ekonomické zhodnocení navrženého řešení - jedním z úkolů této bakalářské práce bylo navržení ekonomicky hospodárného řešení použitím standardně dostupných polotovarů, profilů, součástí a komponent. Kamerový jeřáb se nebude vyrábět, proto uvádím hrubou představu celkové finanční náročnosti s DPH. Ceny jsou brány z katalogů. Cena elektromotorů byla přepočtena dle aktuálního kurzu 1CHF = 24,1 Kč.

Hliníkové profily [32]	5 305 Kč
Povrchová úprava (orientačně)	1 100 Kč
Dva typy kol [29][30]	10 620 Kč
Sada protizávaží [33]	4 734 Kč
Spojovací materiál, lanka (orientačně) [34]	2 145 Kč
Elektromotory Maxon [26]	25 150 Kč
Celkem	49 054 Kč

Jako rozšíření práce by bylo dobré udělat kontrolní výpočet ramene pomocí MKP metody k simulaci průběhu napětí a deformací. Bylo by také vhodné udělat několik konfigurací pro nalezení správného poměru délky ramene, profilu ramene a hmotnosti protizávaží.

Seznam použité literatury

- [1] *Počátky kinematografie* [online]. [cit. 2017-06-24]. Dostupné z: <https://www.otazky.valek.net/>
- [2] *SuperTechno* [online]. [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: <https://www.supertechno.com/>
- [3] *Video stativy* [online]. [cit. 2017-06-24]. Dostupné z: <http://www.profotoatelier.cz/>
- [4] ZETTL, Herbert. *Television production workbook*. 9th ed. Belmont, Calif: Wadsworth/Thomson Learning, 2006. ISBN 0534647286.
- [5] *Evoluce stabilizace - Steadicam* [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://www.all-things-photography.com/>
- [6] *Camera crane e-shop* [online]. [cit. 2017-06-24]. Dostupné z: <http://www.technotrade-eg.com/>
- [7] *Jib e-shop* [online]. [cit. 2017-06-24]. Dostupné z: <https://trobone.com/>
- [8] *Cine jib* [online]. [cit. 2017-06-25]. Dostupné z: <http://www.used-filmequipment.com/>
- [9] *Horst Burbull - Technocrane* [online]. [cit. 2017-06-25]. Dostupné z: <http://kultura.zpravy.idnes.cz/>
- [10] *Teleskopické kamerové jeřáby SUPERTECHNO* [online]. [cit. 2017-06-25]. Dostupné z: <http://www.metallan.cz/>
- [11] *BPM-media e-shop* [online]. [cit. 2017-06-25]. Dostupné z: <https://www.bpm-media.de/>
- [12] *BHP photo video e-shop* [online]. [cit. 2017-06-26]. Dostupné z: <https://www.bhphotovideo.com/>
- [13] *Spectrum moving camera crane* [online]. [cit. 2017-06-26]. Dostupné z: <http://www.spectrumcameracranes.com.au/>
- [14] *Used filmequipment market* [online]. [cit. 2017-06-26]. Dostupné z: <http://www.used-filmequipment.com/>
- [15] *Film magazine* [online]. [cit. 2017-06-26]. Dostupné z: <http://www.indietalk.com/>
- [16] *Ebay ad* [online]. [cit. 2017-06-26]. Dostupné z: <https://picclick.co.uk/>
- [17] *Varizoom: e-shop* [online]. [cit. 2017-06-26]. Dostupné z: <http://www.varizoom.de/>
- [18] *Foton Flamingo: motored head* [online]. [cit. 2017-06-26]. Dostupné z: <http://www.tvekipman.com/>
- [19] *Základní pohyby kamery* [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://25fps.cz/>
- [20] PETERSON, Bryan F. *Naučte se fotografovat dobře: jak dosáhnout skvělých snímků vždy, všude a každým fotoaparátem*. Brno: Zoner Press, 2011. Encyklopedie - grafika a fotografie. ISBN 978-80-7413-086-1.
- [21] *Jak se fotí automobilové závody* [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <https://www.fotoaparát.cz/>
- [22] *E-autor: Jak na zoomování* [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://www.e-collegium.cz/>
- [23] *Mechanické vlastnosti hliníkových slitin* [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://www.strojmetal.cz/>
- [24] *Chemické složení hliníku* [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://www.proal.cz/>



- [25] *Aplikovaná mechanika vsb* [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <https://www.fs.vsb.cz/>
- [26] *DC-motors, gears, controllers: e-shop* [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <http://www.maxonmotor.com/>
- [27] *ČVUT - Systém elektronické podpory studia* [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <http://seps.fs.cvut.cz/>
- [28] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [29] *Kola Ambra: e-shop* [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <https://katalog.ambra.cz/>
- [30] *E-w: e-shop* [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <http://www.e-w.ru/>
- [31] ŠVEC, V.: *Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací*. Praha: ČVUT, 2008.
- [32] *Hliníkový velkoobchod* [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <http://www.ehlinik.cz/>
- [33] *Lifefit kotouče* [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <https://zavazinky.heureka.cz/>
- [34] *Prodej spojovacího materiálu* [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <http://spojmat.cz/>

Seznam použitých zkratek a symbolů

Označení	Jednotky	Název
R_m	$[N \cdot mm^{-2}]$	Mez pevnosti
$R_{p0,2}, K_t$	$[N \cdot mm^{-2}]$	Mez kluzu
A_5	[%]	Tažnost
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	Hustota
m_{kk}	[kg]	Hmotnost kamerové hlavy a kamery
m_k	[kg]	Hmotnost kamerové hlavy
m_{ka}	[kg]	Hmotnost kamery
m_{ramene}	[kg]	Celková hmotnost ramene
q	$[N \cdot m^{-1}]$	Spojité zatížení
m_p	$[kg \cdot m^{-1}]$	Poměrná hmotnost profilu
g	$[m \cdot s^{-2}]$	Gravitační zrychlení
F_k	[N]	Gravitační síla od kamery a kamerové hlavy
M_{omax}	$[N \cdot m]$	Ohybový maximální moment
M_o	$[N \cdot m]$	Ohybový moment
m_o	[-]	Jednotkový moment od jednotkové síly
v	[m]	Průhyb
l	[m]	Délka
σ_{omax}	[Pa]	Ohybové maximální napětí
W_{omax}	$[m^3]$	Maximální modul průřezu v ohybu
A	[m]	Vnější šířka profilu
a	[m]	Vnitřní šířka profilu
J	$[m^4]$	Kvadratický moment průřezu
E	[Pa]	Youngův modul pružnosti v tahu
x	[m]	Obecná vzdálenost
F_z	[N]	Gravitační síla protizávaží
m_z	[kg]	Hmotnost protizávaží
F_{ska}	[N]	Síla od kamery a spodku kamerové hlavy
m_s	[kg]	Hmotnost spodku kamerové hlavy
e	[m]	Vzdálenost síly ke středu otáčení
M_k	$[N \cdot m]$	Kroutící moment

M_{k_skut}	[N·m]	Skutečný kroutící moment
M_{max}	[N·m]	Maximální kroutící moment
P	[W]	Výkon
$n_{max,1,2}$	[min ⁻¹]	Počet otáček maximální, vstupní, výstupní
$\eta_{celk,př,sou}$	[-]	Účinnost celková, převodovky, soukolí
i_c	[-]	Převodový poměr
$p_{min,max}$	[N·mm ⁻²]	Minimální a maximální tlak
k	[-]	Bezpečnost
d	[m]	Průměr
d_H	[m]	Vnější průměr hřídele
d_o	[m]	Vnitřní průměr hřídele
D_N	[m]	Vnější průměr náboje
L_L	[m]	Lisovací délka
f	[-]	Součinitel tření
μ	[-]	Poissonova konstanta
$C_{N,H}$	[-]	Konstanta pro náboj, hřídel
$\Delta d_{min,max}$	[m]	Přesah
$\Delta d_{wmin,max}$	[m]	Výrobní přesah
w	[m]	Stržený výrobní přesah
$Ra^{H,N}$	[μm]	Drsnost povrchu náboje, hřídele
σ_{red}	[N·mm ⁻²]	Redukované napětí
$\sigma_{1,2,3}$	[N·mm ⁻²]	Hlavní napětí
σ_D	[N·mm ⁻²]	Dovolené napětí
S	[m ²]	Plocha
F_L	[N]	Lisovací síla
b	[m]	Šířka uložení
$R_{eč}$	[N·mm ⁻²]	Mez kluzu čepu
l_p	[m]	Vzdálenost síly od podpory
l_s	[m]	Délka styčné plochy
C_o	[N]	Statická únosnost ložiska
C	[N]	Dynamická únosnost ložiska
σ_{Dsvar}	[N·mm ⁻²]	Dovolené napětí ve svaru



$\alpha_{\tau \perp}$	[-]	Převodní součinitel
a_{sv}	[mm]	Tloušťka svaru
$\tau_{\perp t}$	[N·mm ⁻²]	Napětí tečné ve svaru
n_{kola}	[kg]	Nosnost kola
m_c	[kg]	Celková hmotnost jeřábu
ρ_{kol}	[ks]	Počet kol
MKP		Metoda konečných prvků

Seznam obrázků

Obr. 1.: Současná špička na trhu – teleskopický kamerový jeřáb Supertechno [2]	1
Obr. 2.: Stativ (Tripod) [3]	2
Obr. 3.: Steadicam [5]	3
Obr. 4.: Kamerový jeřáb (Camera crane) [6]	4
Obr. 5.: Kamerové rameno (Jib) [7]	4
Obr. 6.: Sedačkový jeřáb (Cine jib) [8]	4
Obr. 7.: Hlavní části kamerového jeřábu	5
Obr. 8.: Teleskopické rameno – Supertechno 50 [10]	6
Obr. 9.: Kamerový jeřáb s pevným ramenem [11]	6
Obr. 10.: Statický kamerový jeřáb [12]	7
Obr. 11.: Manuální kamerový jeřáb [13]	8
Obr. 12.: Motorový kamerový jeřáb [14]	8
Obr. 13.: Kamerový jeřáb na upraveném automobilu [15]	9
Obr. 14.: Kamerový jeřáb s použitím druhého ramene [16]	9
Obr. 15.: Kamerový jeřáb s použitím ocelového lanka [17]	10
Obr. 16.: Dálkově ovládaná kamerová hlava [18]	10
Obr. 17.: Segmentové pevné rameno – předběžný návrh	15
Obr. 18.: Zjednodušený vetknutý nosník	15
Obr. 19.: Průběh ohybového momentu	16
Obr. 20.: Schéma pro výpočet protizávaží	16
Obr. 21.: Segmentové rameno se zmenšujícím se profilem	18
Obr. 22.: Zjednodušení na vetknutý nosník s vyznačenými spojitými zatíženími	18
Obr. 23.: Schéma pro výpočet protizávaží	20
Obr. 24.: Návrh základních rozměrů kamerového jeřábu	23
Obr. 25.: Čtyřčlenný mechanismus [25]	23
Obr. 26.: Kamerová hlava uchycená nosníkem k rameni	24
Obr. 27.: Konstrukce naklápění a otáčení kamerové hlavy	25
Obr. 28.: Působení sil na rameni	25
Obr. 29.: Schéma nalisování s rozměry [27]	27
Obr. 30.: Toleranční pole pro přesah [27]	27
Obr. 31.: Konstrukce ramene	30
Obr. 32.: Konstrukce uložení základny a ramene	31
Obr. 33.: Aretace naklopení polohy	31
Obr. 34.: Uložení otočného středu	32
Obr. 35.: Kontrola navrženého svaru	33
Obr. 36.: Pojízdny stativ	34
Obr. 37.: Kolo ZVK 100/GID [29]	35
Obr. 38.: Kolo Brickle L-P 200R-ST [30]	35

Seznam tabulek

Tab. 1.: Chemické složení	14
Tab. 2.: Jednotlivé parametry zvolených profilů	19
Tab. 3.: Výsledné ohybové momenty a napětí v jednotlivých bodech	20
Tab. 4.: Porovnání hodnot obou variant řešení	22
Tab. 5.: Specifikace motoru Maxon A-max 32 [26]	26
Tab. 6.: Parametry převodovky Maxon GP 32 A [26]	26

Seznam příloh

- Příloha 1: Výkres sestavy (SESTAVA KAMEROVÉHO JEŘÁBU – BP-2017-00)
- Příloha 2: Výkres dílu (DUTÁ HŘÍDEL – BP-2017-01)
- Příloha 3: Výkres dílu (ROZNOŽKA – BP-2017-02)
- Příloha 4: Kusovník (KUSOVNÍK SESTAVY KAMEROVÉHO JEŘÁBU – BP-2017-K)