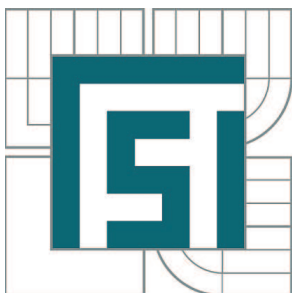


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKČNÍ NÁVRH KAMEROVÉHO JEŘÁBU

DESIGN OF CAMERA CRANE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PAVEL NAVRÁTIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DANIEL KOUTNÝ, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Navrátil

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

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

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

Konstrukční návrh kamerového jeřábu

v anglickém jazyce:

Design of camera crane

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh kamerového jeřábu s těmito parametry: stacionární typ, vyložení ramene 9 m, hmotnost kamery cca 8 kg, pro kamerovou hlavu se 3osami rotace, možnost výměny kamerové hlavy.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat:

- 1.Úvod
- 2.Přehled současného stavu poznání
- 3.Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
- 4.Vymezení cílů práce
- 5.Návrh metodického přístupu k řešení
- 6.Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
- 7.Konstrukční řešení
- 8.Závěr (konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení)

Forma diplomové práce: průvodní zpráva, technická dokumentace.

Typ práce: konstrukční

Účel práce : pro potřeby průmyslu.

Seznam odborné literatury:

SHIGLEY, J. E, MISCHKE, Ch. R, BUDYNAS, R. G. KONSTRUOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ. VUTIUM, 2008. 1300 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniel Koutný, Ph.D.

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

V Brně, dne 25.11.2010

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá několika variantami konstrukčního návrhu kamerového jeřábu. Vybrány jsou dvě z těchto variant, které jsou nejvhodnější s ohledem na zadání a praktické využití zařízení. Práce obsahuje kompletní návrh těchto variant včetně 3D modelů a pevnostních analýz nejvíce namáhaných konstrukčních uzlů, které jsou řešeny pomocí metody konečných prvků. První varianta byla na základě technické dokumentace vyrobena a úspěšně slouží pro potřeby společnosti Filmochod s.r.o..

KLÍČOVÁ SLOVA

Kamerový jeřáb, kamerová hlava, kamera, stativ, steadicam, polecam, rameno, aretace, lineární vedení, teleskopický pohyb, automatické vyvažování

ABSTRACT

This Master's thesis deals with several variants construction design of camera crane. Two optimal variants are chosen with regard to practical usage. The thesis includes complete design of these variants with 3D models and strenght analyses. This analyses are processed by final element method. The first variant made based on technical documentation and it has worked for company Filmochod s.r.o..

KEYWORDS

Camera crane, camera head, camera, tripod, steadicam, polecam, jib, arrest, linear guide system, telescopic motion, automatic balance

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NAVRÁTIL, P. Konstrukční návrh kamerového jeřábu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 95 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Koutný, Ph. D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci „Konstrukční návrh kamerového jeřábu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Daniela Koutného, Ph.D. s využitím doporučené literatury.

V Brně dne 20. května 2011

.....
Bc. Pavel Navrátil

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Danielovi Koutnému, Ph.D. a Ing. Janovi Brandejsovi, CSc. za ochotu, cenné rady a věcné připomínky. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a mým přátelům za podporu při tvorbě této práce.

OBSAH

ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	14
1.1 Základní pohyby kamery	14
1.1.1 Panaramování	14
1.1.2 Naklápění	14
1.1.3 Přibližování/oddalování	15
1.1.4 Zoom	15
1.1.5 Tracking (sledování)/Countermove (protipohyb)	15
1.2 Kamerová technika	16
1.2.1 Stativ	16
1.2.2 Steadicam	16
1.2.3 Polecam	17
1.2.4 Kamerový jeřáb	18
2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA.....	26
3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	27
4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ.....	28
4.1 Popis činností nezbytných pro úspěšné řešení konstrukčního návrhu kamerového jeřábu	28
4.2 Použitý software	28
5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	29
5.1 Varianta A	29
5.1.1 Výpočet maximálních napětí působících v rameni jeřábu	29
5.1.2 Hmotnost protizávaží	30
5.1.3 Průhyb na konci ramena	31
5.2 Varianta B	31
5.2.1 Výpočet maximálních napětí působících v rameně jeřábu	32
5.2.2 Hmotnost protizávaží	33
5.2.3 Průhyb na konci ramena	34
5.3 Varianta C	34
5.3.1 Výpočet maximálních napětí působících v rameni jeřábu	35
5.3.2 Hmotnost protizávaží	36
5.3.3 Průhyb na konci ramena	37
5.4 Zhodnocení a výběr optimální varianty	37
6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	38
6.1 Varianta B	38
6.1.1 Rameno	38
6.1.2 Držák kamery/fotoaparátu	40
6.1.3 Tubus	41
6.1.4 Protizávaží	42
6.1.5 Držák ramena	43
6.1.6 Otočný sloup	43
6.1.7 Stolek	44
6.1.8 Podvozek	45
6.1.9 Sestavení jeřábu	46
6.1.10 Kontrolní výpočty	47
6.1.11 Pevnostní analýza ramena	49

6.2 Varianta C	54
6.2.1. Rameno	54
6.2.2 Lineární vedení	56
6.2.3 Držák kamerové hlavy	57
6.2.4 Teleskopický pohyb ramena	58
6.2.5 Systém automatického vyvažování	62
6.2.6 Hnací soustrojí	66
6.2.7 Držák ramena s aretací	68
6.2.8 Otočný teleskopický sloup	69
6.2.9 Podvozek	71
6.2.10 Kontrolní výpočty	72
6.2.10 Pevnostní analýza ramena	74
7 ZÁVĚR (KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ)	84
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	87
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	89
10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	92
11 SEZNAM TABULEK	94
12 SEZNAM PŘÍLOH	1

ÚVOD

Přestože se lidé snažili už od pradávna nějakým způsobem zachytit pohyb a dále ho reprodukovat, historie kinematografie není v porovnání s jinými obory příliš velká. Oficiálně se datuje k roku 1895, kdy bratři Lumiérové, Auguste a Louis, poprvé předvedli v kavárně Grand Café své filmy. Od této doby se do výzkumu nových technologií pro film zapojila celá řada vědeckých oborů, jakými jsou například fyziologie, optika, mechanika či chemie. Výsledkem spolupráce těchto odvětví bylo natočení několika prvních filmů, které však nevynikaly svým námětem ani, z dnešního pohledu, zajímavými záběry [1].

Možnost natáčení zajímavých záběrů, ať už s ohledem na dynamiku pohybu či zvolenou perspektivu, umožnila až o několik let později, speciální filmová technika. Z počátku se jednalo zejména o stativy, které nahradily ruční držení kamery a eliminovaly tak obtížnou stabilizaci. Až později byla navržena zařízení připomínající dnešní kamerové jeřáby.

Tato práce je soustředěna na návrh kamerového jeřábu, který je charakterizován konkrétními požadavky průmyslu. V práci je řešena nejenom problematika samotného návrhu, ale i přehled současného poznání v této oblasti, který zahrnuje obecné seznámení s filmovým prostředím, jeho potřebami a rozbor jednotlivých řešení těchto potřeb. Hlavními návrhovými kritérii kamerového jeřábu jsou nízké výrobní náklady, jednoduchost konstrukce i ovládání a možnost rychlé demontáže z důvodu častého transportu.

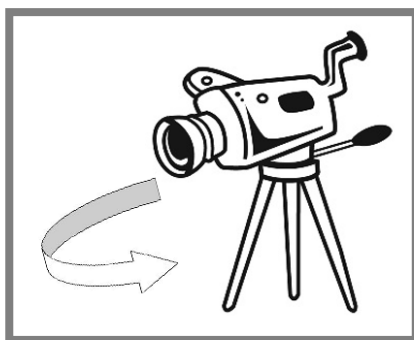
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Chceme-li pořídit zajímavý záběr, nemusíme k tomu vždy využívat pouze zajímavých objektů, ale můžeme zachytit i obyčejné věci z neobyčejných perspektiv. V kinematografii je tato úloha velmi důležitá, protože právě pohyb kamery určuje to, co a z jakého úhlu pohledu divák uvidí. K tomuto účelu slouží zařízení, jakými jsou například stativy, steadicamy, polecamy či kamerové jeřáby.

1.1 Základní pohyby kamery

1.1.1 Panoramování

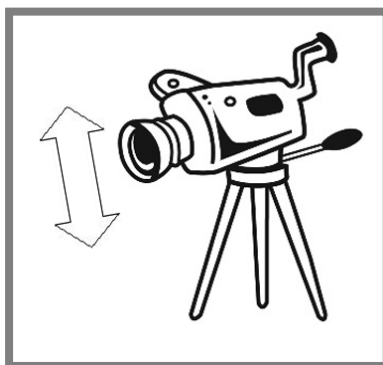
Panoramování spočívá v natáčení kamery doprava nebo doleva v horizontálním směru přičemž vertikální pozice kamery se nemění [2]. Tento pohyb kamery je jednoduchý zejména při použití vhodné kamerové hlavy. Natáčíme-li kamerou příliš rychle, vzniká tzv. stroboskopický jev, který je velmi rušivý. Tento jev můžeme eliminovat, budeme-li respektovat určitá pravidla. Základním pravidlem pořizování záběru v rozsahu 180°, při snímkování 24-25 snímků za sekundu je dodržení minimálního času pohybu 5 s. Použijeme-li vyšší snímkování, musíme tento čas ještě prodloužit. Existuje tabulka, která určuje potřebný čas vztažený k počtu snímků za vteřinu a rozsahu pohybu. V praxi se však nevyužívá, protože vyžaduje použití stopek a úhloměru, což není příliš praktické.



Obr. 1-1 Panoramování

1.1.2 Naklápění

Naklápěním rozumíme jednoduchý pohyb ve vertikální rovině bez změny horizontální polohy kamery. Tento pohyb je používán mnohem méně než panoramování, protože většinu našeho života prožíváme pouze v horizontální rovině a film převážně zachycuje scény z běžného života. Naopak chceme-li záběr zatraktivnit či poskytnout divákovi tu správnou perspektivu, která nejlépe vystihuje danou scénu, pak je použití vertikálního pohybu velmi efektivní [3].



Obr. 1-2 Naklápění

1.1.3 Přiblížování/oddalování

Pohyb kamery směrem ke scéně se nazývá přiblížování, naopak od scény oddalování. Ve filmařské terminologii bývá přiblížování označeno jako „push in“ a oddalování „pull out“. Tyto pohyby umožňují přejít ze širokého záběru na mnohem užší detail a jsou z pravidla vztaženy k dění na scéně. Například sedá-li si postava, znamená to, že má následovat přiblížení kamery. Zkušený kameraman vždy přesně ví, kdy s daným pohybem začít [2]. Tyto záběry obvykle činí děj mnohem dramatičtější, než kdyby byl široký záběr od detailu oddělen pouze střihem.

1.1.3

1.1.4 Zoom

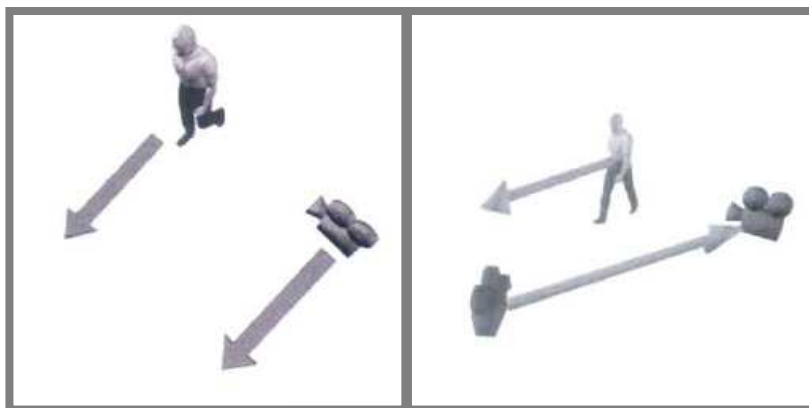
Při zoomování se jedná o optickou změnu ohniskové vzdálenosti, zatímco pozice kamery zůstává nezměněna. Zoom je obvykle kombinován ještě s přiblížením či pohybem herce tak, aby jeho efekt byl nenápadný. V opačném případě zoom působí rušivě a neprofesionálně.

1.1.4

1.1.5 Tracking (sledování)/Countermove (protipohyb)

Jedním z nejjednodušších a jasně daných pohybů kamery je kopírování pohybu sledovaného objektu. Zpravidla se trackingem označuje pohyb, který je paralelní s objektem v pozitivním směru pohybu. V opačném případě, pohybujeme-li se tedy v negativním směru, jedná se o tzv. countermove. Můžeme se však setkat i s trackingem, při kterém se kamera pohybuje kolem subjektu po kruhové dráze. Tyto pohyby kamery se používají například místo panoramování, při kterém by kamera zůstala pouze na jednom místě, což nepůsobí dostatečně dynamicky a exkluzivně[4].

1.1.5



Obr. 1-3 Tracking (sledování) [3]

Obr. 1-4 Countermove (protipohyb) [3]

1.2 Kamerová technika

1.2.1 Stativ

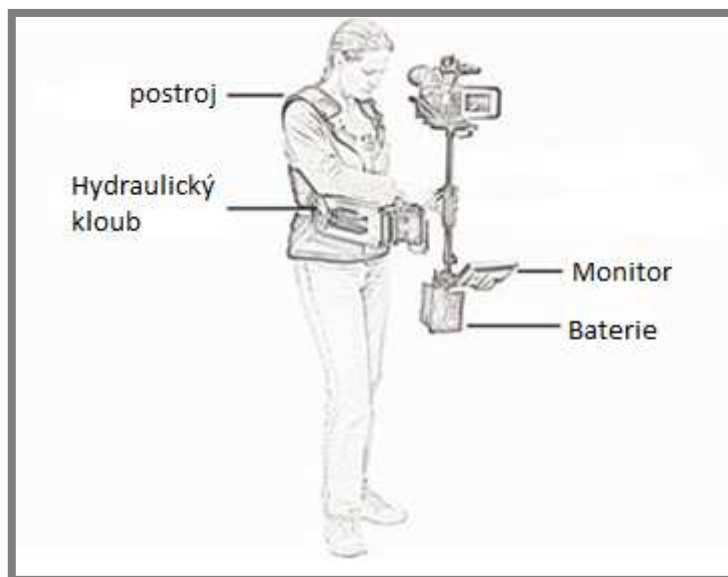
Na rozdíl od běžného ručního držení umožňuje stativ stabilní pohyb jak v ose vertikální, tak v ose horizontální (částečně omezený). Nejběžnější provedení bývá v podobě teleskopické trojnožky. Proto je také někdy označován jako tripod [5]. Na vrcholu je obvykle umístěna stativová hlava s ovládací pákou. Výhodou stativu je jeho skladnost a rychlost montáže či demontáže. Bohužel má díky své konstrukci omezen pohyb kolem horizontální osy a nenabízí ani možnost pohledu či pořízení dynamického záběru.



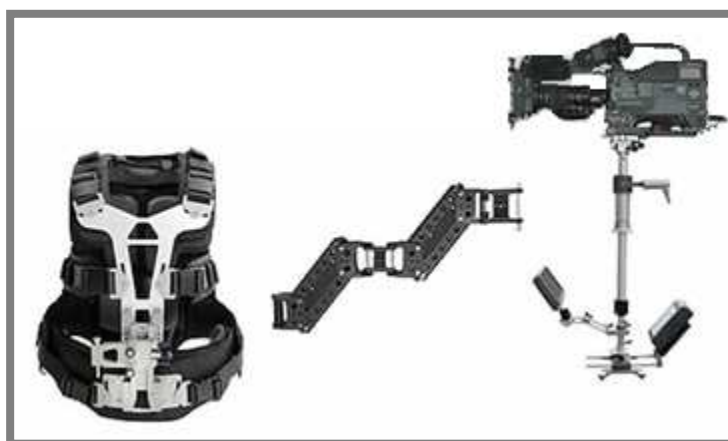
Obr. 1-5 Stativ [6]

1.2.2 Steadicam

Steadicam je tvořen postrojem pro kameramana a speciálním hydraulickým kloubem, který dokáže tlumit otřesy vznikající při přesunu kameramana. Kloub je přes krátká kovová ramena na jedné straně spojen s postrojem a na straně druhé s vertikální tyčí. Na horním konci tyče je připevněno stativové upnutí a spodní konec je vyvážen závažím. Jako část závaží bývá použit zdroj pro kameru či kontrolní monitor. Steadicam je využíván zejména pro natáčení záběrů, které suplují pohled některé z postav filmu a mají bezprostřední a neprostředkovaný charakter [5]. Velkou nevýhodou tohoto zařízení je vysoká fyzická náročnost pro kameramana, zejména při použití těžkých profesionálních kamer.



Obr. 1-6 Steadicam [7]

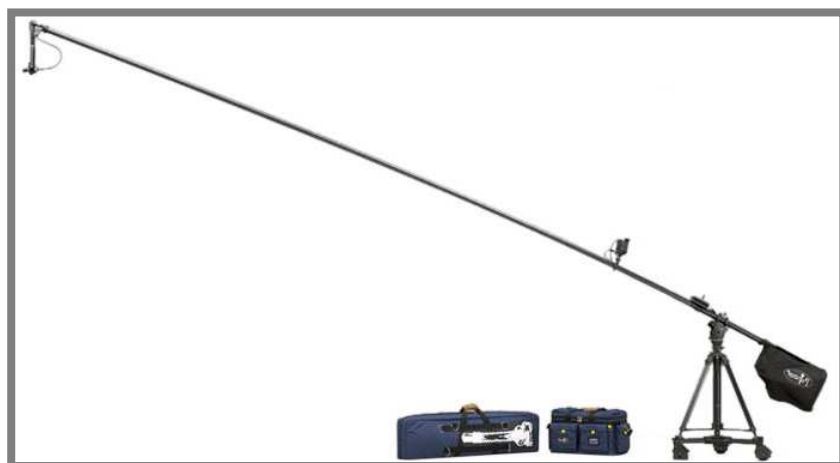


Obr. 1-7 Steadicam - detail [8]

1.2.3 Polecam

Polecam je tvořen 1,5 – 6m dlouhou modulární tyčí vyrobenou s uhlíkových vláken, na jejímž konci je připevněna otočná hlava s motorky, která umožňuje pohyb kamery ve 3 osách. Otočná hlava je ovládána pomocí joysticku z pozice kameramana. Na druhém konci tyče je umístěno vyvažovací závaží společně se zdrojem energie. Těžiště polecamu je umístěno buď na jednoduché trojnožce nebo častěji přímo na těle kameramana. Jelikož je polecam konstruován s ohledem na minimální hmotnost nelze na jeho rameno umístit filmová kamera, ale pouze speciální digitální kamera s váhou okolo 0,5kg [9]. Toto zařízení však v sobě kombinuje možnosti natáčení srovnatelné s menšími kamerovými jeřáby a zároveň výbornou mobilitu, skladnost i cenu.

1.2.3



Obr. 1-8 Polecam s příslušenstvím [9]

1.2.4 Kamerový jeřáb

Kamerový jeřáb je zařízení, se kterým je možno realizovat i ty nejnáročnější záběry. Mezi jeho hlavní výhody patří jeho dlouhé rameno, které umožňuje velký rozsah vertikálního pohybu. Nevýhodami mohou být například vysoká cena, vyšší nároky na přepravu či delší čas přípravy před natáčením.

Pohyby jeřábu

Největší výhodou kamerového jeřábu je možnost realizovat pohyby s velkým vertikálním rozpětím. Většinou se tento druh pohybu používá k pořízení celkového pohledu na scénu a následné izolování akčního záběru, který se odehrává třeba na okraji scény. Tyto záběry jsou s oblibou využívány pro tzv. otevření scény, tedy pro začátek děje na novém místě nebo pro zvrat v příběhu. Naopak záběr, který scénu často uzavírá, získáme obrácením tohoto postupu. Další důležitou možností využití jeřábu je pořízení záběru z úrovně, která se nachází pod úrovní roviny instalace. Jedná se o tzv. podhled. Podhled se používá zejména pro pořízení záběru ze zajímavé perspektivy, ale používá se i v případech, kdy potřebujeme zvětšit akční rádius vertikálního pohybu, pro zachycení maximálně dynamického záběru [5].

Základna jeřábu

Základna jeřábu je jednou z částí, která velkou měrou ovlivňuje stabilitu i tuhost celého zařízení. U menších, lehčích jeřábů bývá řešena jako trojnožka z lehkých slitin. Častěji se však setkáme se základnou v podobě vozíku, na který je připevněn nosný sloup. U opravdu velkých a těžkých jeřábů může být rameno přimontováno přímo na nákladní automobil. Vozík je pojízdný, ať už z důvodu pouhého přemístění z jedné scény na druhou nebo pro natočení dynamického záběru. Používají se převážně bantamová kolečka, protože lépe překonávají terénní nerovnosti. Zatímco při přemísťování během záběru se z důvodu, velké tuhosti a přesnosti pohybu, využívají kola kolejová. Na podvozku jsou dále umístěny stavitelné podpory, které umožňují vyrovnaní jeřábu. Nejčastěji jsou tyto podpory navrženy jako matice pevně spojené s podvozkem, ve kterých se otáčí trapézový šroub s opěrnou částí na konci.



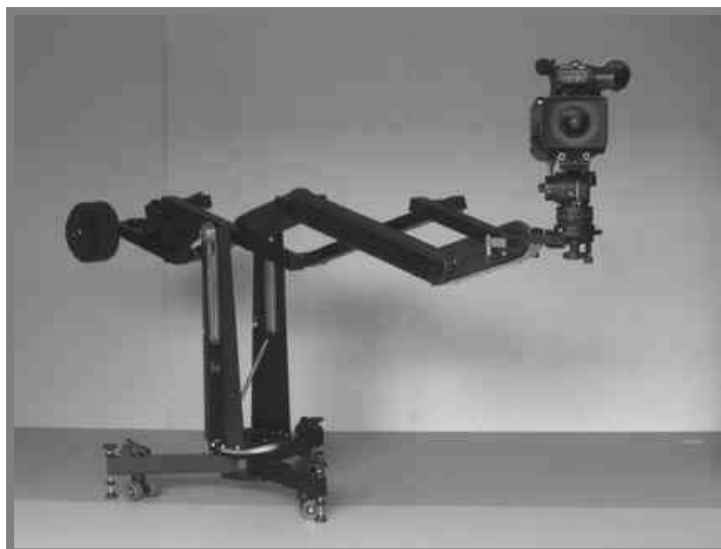
Obr. 1-9 Nákladní automobil jako základna kamerového jeřábu [5]

Uložení ramena

Uložení ramena musí umožňovat rotační pohyb v horizontální i vertikální ose. Důležitými kritérii jsou především snadná údržba, malé vůle a možnost rozebrání z důvodu usnadnění transportu. Kritérium malých vůlí vyplývá z potřeby přesných pohybů kamery. Díky dlouhému ramenu by se i poměrně malé vůle projevíly velmi negativně.

Rameno

Hlavními parametry jeřábu jsou maximální délka ramena a maximální hmotnost kamery, kterou můžeme na vysunuté rameno umístit. Rameno musí být dostatečně tuhé a zároveň musí mít malou hmotnost kvůli vyvážení, vlivu setrvačných sil při manipulaci či snadnému transportu. Podle použití kamerového jeřábu je volena i konstrukce ramena. Standardně jsou voleny tři druhy konstrukce. První z nich je modulární konstrukce. Rameno se skládá podle potřeby z několika částí (modulů) o délce nejčastěji 1,5 – 3m. Jednotlivé moduly jsou většinou mezikruhového průřezu a jsou zhotoveny ze slitin hliníku nebo uhlíkových vláken. Nedostatečná tuhost jednotlivých modulů bývá eliminována použitím podpurných lanek. Další z možností konstrukce je tzv. „nůžková konstrukce“ viz Obr. 1-10. Tato konstrukce má nespornou výhodu v možnosti snadné a rychlé montáže či demontáže. Naopak touto stavbou nelze dosáhnout větších délek ramena. Největším vynálezem v oblasti kamerových ramen jsou teleskopická ramena. Německý konstruktér a majitel firmy Technocrane v Plzni Horst Burbulla dokonce za tento přínos filmovému světu obdržel v roce 2005 Oskara. Výsuvná konstrukce umožňuje nejenom délkovou variabilitu ramena, ale i pořízování speciálních dynamických záběrů, bez kterých by se neobešly takové velko filmy, jakými jsou například Pearl Harbor, Matrix, Harry Potter atd. Rameno musí být velmi tuhé a jeho pohyb přesný. Proto jsou u tohoto druhu konstrukce použity speciální profily z lehkých slitin a kuličková vedení, která známe spíše z novodobých obráběcích center. Tyto prvky jsou pro kvalitní teleskopický jeřáb nezbytné. Celé zařízení však velkou měrou prodražují, což brání masovějšímu rozšíření této techniky.



Obr. 1-10 Nůžková konstrukce ramena [5]



Obr. 1-11 Teleskopická konstrukce ramena [10]

Aretace

Aretace je jednou z nejdůležitějších součástí kamerového jeřábu. Zabezpečuje nejenom zajištění ramena v určité poloze, ale hraje i zásadní roli z hlediska bezpečnosti. Při provozu jeřábu vznikají, zejména při neodborném zacházení či špatném vyvážení, velké momenty, které musí být schopna zachytit. Obvykle se používají pásové brzdy nebo svěrné spoje s velkou styčnou plochou.

Ovládání

Obsluha kamerového jeřábu bývá obvykle práce pro tříčlenný tým. Manipulace v menším počtu se nedoporučuje z důvodu bezpečnosti. Hlavní ovládací madla jsou zpravidla umístěny společně se závažím na opačném konci ramena, než kamera. Další pomocná madla mohou být v blízkosti kamery (natáčíme-li nízko nad zemí). Vyvážíme-li správně rameno, můžeme základní pohyby jeřábu ovládat manuálně bez větší fyzické námahy. Ostatní pohyby, jakými jsou například teleskopické vysunutí při pořizování dynamických záběrů, jsou ovládány elektronicky. Pro snadnou orientaci je v zorném poli obsluhy umístěn kontrolní monitor, který zobrazuje aktuální pohled kamery. Aktuální obraz kamery je také možno přenést na externí monitor, který může sledovat přímo režisér a dohlížet tak na správnost záběru.



Obr. 1-12 Obsluha kamerového jeřábu

1.2.5 Připevnění kamery

1.2.5

Ruční držení

Kameru při ručním držení operátor s ohledem na její velkou hmotnost obvykle nedrží přímo v ruce, ale má ji opřenu o rameno, což ovšem nedovoluje pořizovat záběry nízko nad zemí. Po mnoho let bylo ruční držení jedinou možností, jak zajistit mobilitu kamery v případech, kdy není možné nebo velmi nepraktické použít kamerový vozík (např. při pohybu po schodech). Ruční držení v sobě skrývá bezprostřednost a důraznost, kterou se zatím nepodařilo nahradit žádným jiným způsobem a například i velkofilm „Zachraňte vojína Rayana“ je z 90% pořízen právě ručním držením.



Obr. 1-13 Ruční držení kamery [11]

Kamerová hlava

Kamera nemůže být připevněna přímo na stativu či kamerovém vozíku. Kdyby tomu tak bylo, nebylo by možné s kamerou dál pohybovat. Proto existují tzv. kamerové hlavy, které umožňují plynulý, stabilní a opakovatelný pohyb. Kamerová hlava je zpravidla umístěna na konci ramena jeřábu. Podle typu umožňuje pohyb ve dvou až třech osách. Pohyb v první ose se nazývá natáčení kamery, ve druhé naklápění a třetí osa je rovnoběžná s objektivem kamery [5]. Hlava dále obsahuje normalizované upínací prvky pro připevnění kamery a přírubu spojující hlavu s jeřábem. Ovládání hlavy může být mechanické pomocí lanek a ramen nebo elektronické s krokovým motorem pro každou osu. Mechanické ovládání klade vyšší nároky na obsluhu, ale je levnější a nepotřebuje napájení. Naproti tomu elektronická koncepce umožňuje naprogramování perspektivy záběru i jeho následné opakování. Standardním požadavkem je soustředění pohledu kamery do jednoho bodu, zatímco měníme vertikální polohu ramena. Tento požadavek lze opět řešit mechanickým řešením pantografem nebo elektronicky. Kamerové hlavy můžeme rozdělit podle principu do čtyř kategorií.

Hydraulická hlava

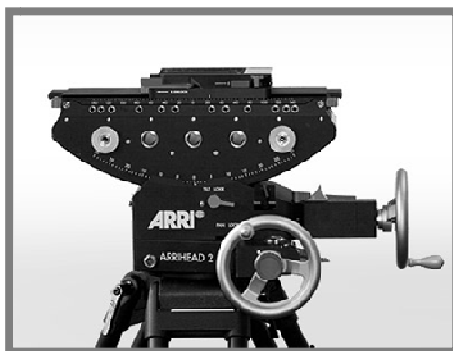
Tato hlava používá hydraulický olej, vnitřní tlumiče a pružiny k dosažení co možná nejplynulejšího pohybu. Tento druh kamerové hlavy je operátory velmi oblíbený, protože odpor kladený proti pohybu tlumiči je plně nastavitelný, a proto nemají problémy se stabilizací či opakováním záběru.



Obr. 1-14 Tekutinová hlava [5]

Převodová hlava

Tento druh kamerové hlavy je řízen ozubenými koly, která může operátor velmi plynule a lehce ovládat. Převodové hlavy mají velmi dlouhou historii a jsou s úspěchem používány dodnes. Jedním z hlavních důvodů stálého používání je jejich bezúdržbovost a možnost umístění i kamer s velkou hmotností.



Obr. 1-15 Převodová hlava [12]

Dálkově ovládaná hlava

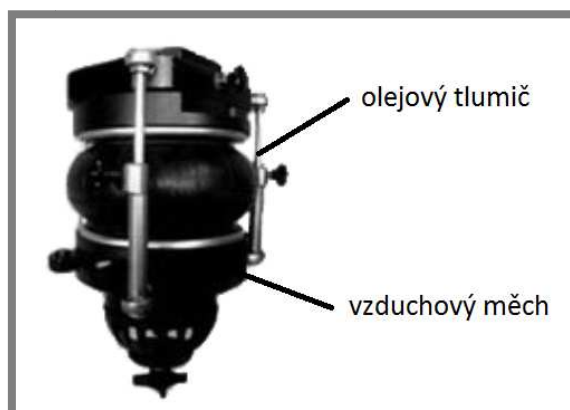
Převodová hlava může být poháněna i pomocí motorků, které umožňují dálkové ovládání, dražší modely jsou ovládány počítačem. Dálkově ovládané hlavy jsou používány pro nejrůznější účely a jsou-li připevněny na rameno jeřábu, umožňují velmi zajímavé záběry. Díky dálkovému ovládání nemusí na konci ramena sedět operátor a ramena jeřábu mohou být dimenzována na mnohem menší zatížení, což celou konstrukci zlevňuje, ramena mohou být delší a lépe ovladatelná.



Obr. 1-16 Dálkově ovládaná hlava [13]

Airfloater

Základem této konstrukce je vzduchový měch. Jeho pohyb je usměrňován z pravidla třemi nebo čtyřmi stabilizátory v podobě olejových tlumičů. U tohoto řešení je často vyzdvihována skvělá plynulost a lehkost pohybu [14]. Naproti tomu tato konstrukce neumožňuje plnou rotaci kolem horizontální osy, ale je omezena na $\pm 18^\circ$. Celkový rozsah tedy činí 36° .



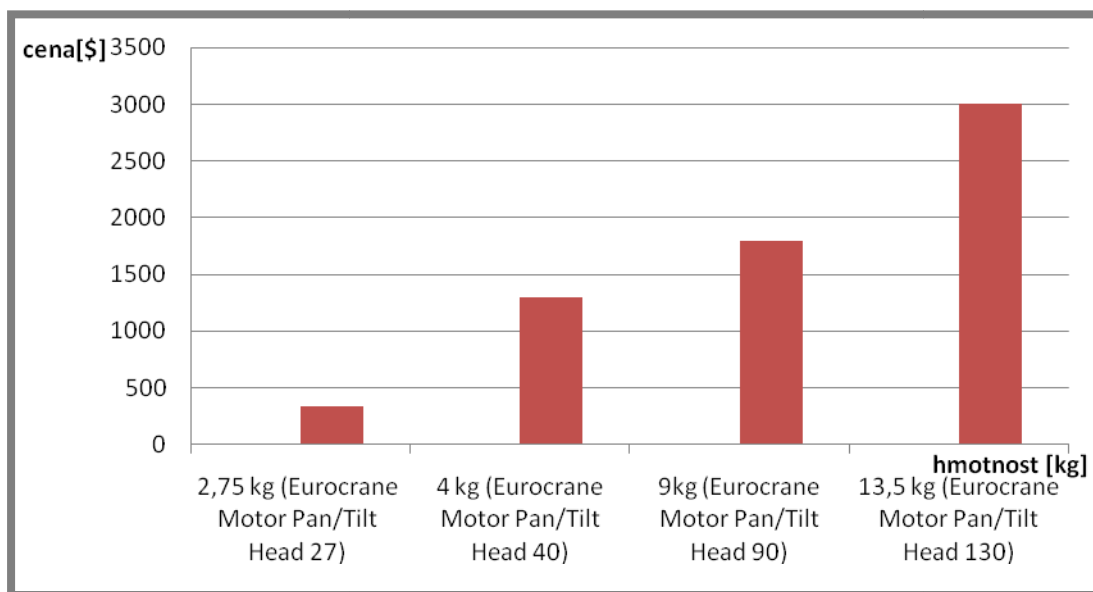
Obr. 1-17 Airfloater [14]



Obr. 1-18 Ovládání kamerové hlavy airfloater [14]

Specifikace kamerové hlavy

Kamerové hlavy jsou určeny hned několika parametry. První skupinou parametrů je počet os, kolem kterých je hlava schopna konat otáčivý pohyb a rozsah tohoto pohybu. Nejčastěji jsou hlavy dvouosé a rozsah pohybů je bez omezení, tedy 360° v obou osách. Ovšem hlavním specifikem kamerové hlavy je hmotnost kamery, pro kterou je dimenzována. Tímto parametrem je dán druh její konstrukce i cena. Všechny dnešní hlavy jsou již standardně dálkově ovládány, záleží však na možnosti regulace otáček, citlivosti a naprogramovaných funkcích, což ovlivňuje především použitá řídicí elektronika.



Obr. 1-19 Závislost ceny kamerové hlavy na její nosnosti

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

Po prozkoumání trhu s filmovou technikou, lze nalézt mnoho profesionálních firem, které se zabývají výrobou i vývojem kamerových jeřábů. Nabízejí nespočet druhů velikostí a modifikací pro různé podmínky využití. Cena těchto zařízení je však velmi vysoká viz. Tab. 1. Proto firma Filmochod s.r.o. oslovila Ústav konstruování s požadavkem konstrukce kamerového jeřábu s vyložení 9m a maximální hmotností kamery včetně kamerové hlavy 8kg. Na základě tohoto zadání bylo vypracováno několik možných variant. Všechny tyto varianty však, kvůli dlouhému rameni, byly velmi masivní a vyžadovaly použití nestandardních profilů, což by znamenalo jejich výrobu z hliníkového plechu. V dílnách Ústavu konstruování výroba takto rozměrných profilů není možná a při zadání výroby externí společnosti by cena převýšila plánovaný rozpočet. Proto se po konzultaci se zadavatelem snížila délka vyložení ramena na 6m, což umožnilo použití normalizovaných profilů.

Po úspěšné realizaci této varianty a nabytí praktických zkušeností s konstrukcí kamerového jeřábu, vznesl zadavatel požadavek na návrh složitější varianty jeřábu. Tato varianta vychází z původního zadání (vyložení ramena 9m), ale umožňuje použití i těžkých profesionálních kamerových hlav a kamer s hmotností do 35kg. Dalším inovativním prvkem je natáčení dynamických záběrů pomocí elektricky vysouvaného ramena s automatickým vyvažováním.

Tab. 2-1 Parametry jeřábů jednoho z renomovaných výrobců a jejich ceny

	hmotnost kamerového jeřábu [kg]	délka ramena od osy otáčení [m]	sklon ramena od vodorovné polohy [°]	maximální hmotnost kamery [kg]	základní cena [€]
Techno 15	523	4,15	60	35	160 000
Super – techno 22	-	6,81	60	35	183 000
Super – techno 30	1200	9,55	60	35	215 000
Super – techno 50	2300	14,75	60	35	428 750

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Hlavním cílem práce je konstrukční návrh kamerového jeřábu. S ohledem na rozpočet a vyrobiteľnosť v dílnách Ústavu konstruování, se práce zabývá dvěma návrhy. Prvním z nich je varianta s kratším ramenem o délce 6m a realizací funkčního prototypu. Druhá varianta je samostatným návrhem s delším ramenem 9m dle zadání diplomové práce. Po konzultaci se zadávající firmou byly stanoveny následující dílčí cíle a požadavky:

- minimalizace výrobních nákladů
- vyrobiteľnosť v dílnách Ústavu konstruování
- snadná manipulace, montáž i demontáž
- minimalizace hmotnosti
- možnost přepravy běžným užitkovým vozem
- velmi nízké nároky na údržbu
- bezpečný provoz zařízení

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

4.1 Popis činností nezbytných pro úspěšné řešení konstrukčního návrhu kamerového jeřábu

a) Na začátku řešení je třeba seznámit se s danou problematikou. Tzn. nastudovat dostupnou literaturu zabývající se nejenom konstrukcí kamerových jeřábů, ale i filmovou technikou a kinematografií obecně. Dále pak na toto téma zpracovat rešerši.

b) Na základě získaných poznatků z rešeršní části bude vytvořeno několik konceptů tak, aby splňovaly všechny výše uvedené požadavky. Po pečlivém zvážení všech pozitiv i negativ jednotlivých konceptů, bude vybrána nejvhodnější varianta.

c) Nejvhodnější řešení bude za pomoci vhodného CAD softwaru zpracováno do digitální podoby. Po té budou provedeny simulace zatížení nejvíce namáhaných částí jeřábu a na závěr bude vytvořena výkresová dokumentace hlavních konstrukčních uzlů.

d) Výroba kamerového jeřábu dle výkresové dokumentace

4.2 Použitý software

Pro tvorbu 3D modelů a jejich sestav je v této práci použit Autodesk Inventor Professional 2010. Z tohoto programu je také generována většina obrázků v této práci. Následná výkresová dokumentace je s ohledem na dodržení všech ISO norem zpracována v programu Autodesk AutoCAD 2010. Pevnostní výpočty a průhyb ramena jsou vyhodnoceny za pomoci programu Ansys Workbench 12.1. Textová část je zpracována v textovém editoru Microsoft Word 2007.

5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

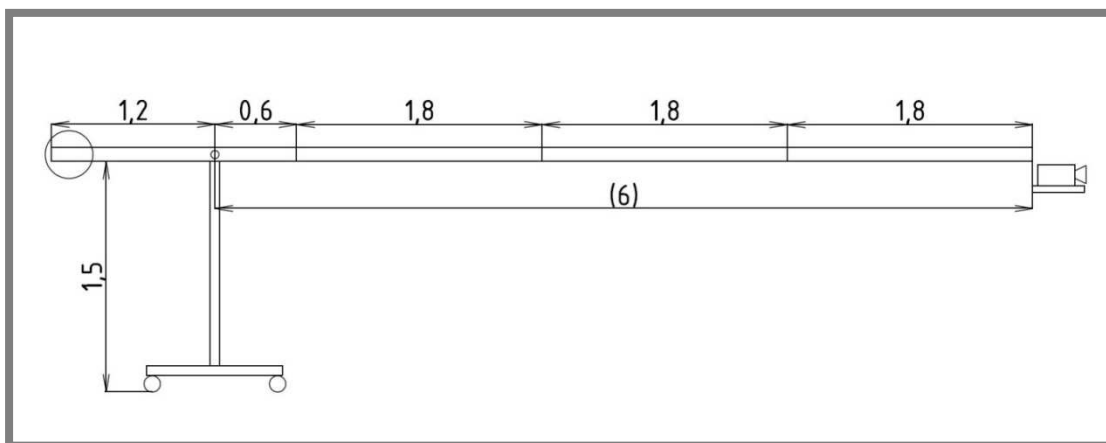
5

Na základě výše uvedeného zadání byly vypracovány tři varianty řešení, které se zásadně liší zvoleným typem konstrukce i dosahovanými parametry.

5.1 Varianta A

5.1

První konstrukční variantou je volba modulárního uspořádání ramena. Rameno je tvořeno čtyřmi moduly z hliníkové slitiny stejné délky 1,8m. Byl zvolen normalizovaný čtvercový profil o rozměru 100 x 100 mm a tloušťce stěny 4 mm. Toto řešení umožňuje snadnou montáž a volbu délky ramena 0,6; 2,4; 4,2 nebo 6 m. Délka zadní části ramena je zvolena s ohledem na ovládání a vyvážení jeřábu 1,2 m. Tato délka umožňuje dostatečný rozsah pohybu kolem horizontální osy (98°) aniž by docházelo ke kontaktu s podvozkovou částí.

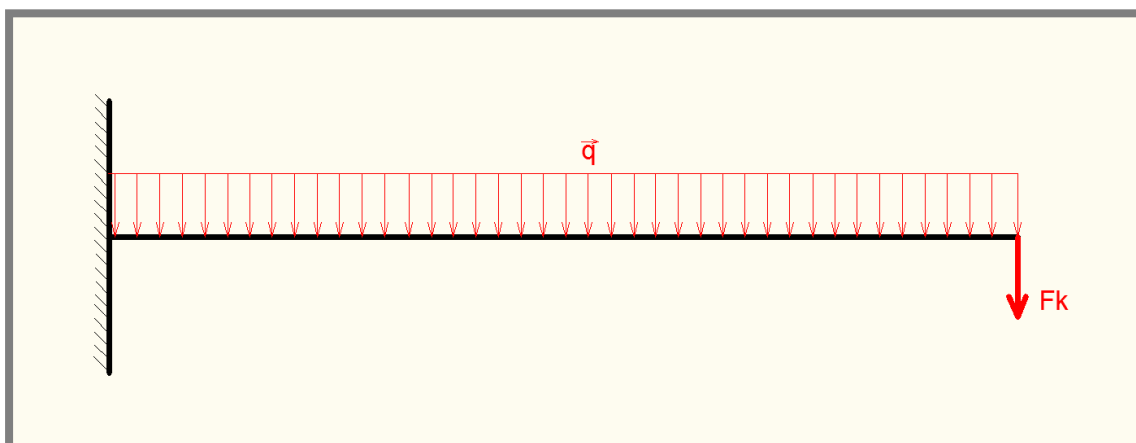


Obr. 5-1 Schematické znázornění varianty A včetně základních rozměrů

5.1.1 Výpočet maximálních napětí působících v rameni jeřábu

5.1.1

- pro zjednodušení bude rameno nahrazeno nosníkem délky 6m vetknutého v místě otočného uložení a zatíženého vlastní tíhou a tíhou od kamerové hlavy a kamery.



Obr. 5-2 Zjednodušení ramena na vetknutý nosník se zatížením vlastní tíhou a silou od kamery a kamerové hlavy

vlastní zatížení: $q = m_p \cdot g = 4,16 \cdot 9,81 = 40,8 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$

kde:

q $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ je liniové zatížení

m_p $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ - poměrná hmotnost profilu

g $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ - gravitační zrychlení

- nejvyšší napětí je v místě největšího ohybového momentu M_o , který je v oblasti vetknutí.

$$M_o = F_k \cdot l + \frac{l^2 \cdot q}{2} = 98,1 \cdot 6 + \frac{6^2 \cdot 40,8}{2} = 1\,323 \text{ N} \cdot \text{m}$$

kde:

M_o $\text{N} \cdot \text{m}$ je ohybový moment

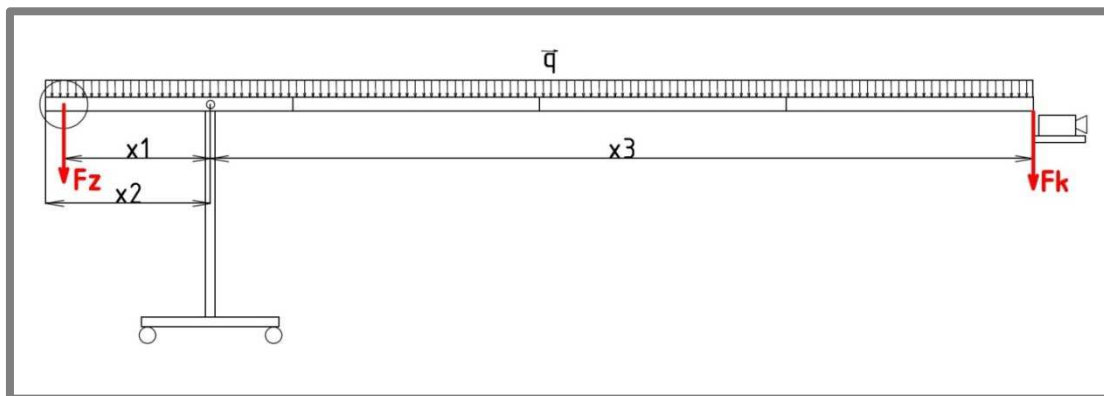
F_k N - tíha od kamerové hlavy a kamery

l m - délka ramena

q $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ - liniové zatížení

- maximální napětí: $\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{1323}{4,73 \cdot 10^{-5}} = 27,97 \text{ MPa}$

5.1.2 Hmotnost protizávaží



Obr. 5-3 Uvolnění ramena s vyznačením spojitého zatížení od vlastní tíhy ramena a sil od kamerové hlavy a protizávaží

- z momentové podmínky rovnováhy k otočnému bodu vyplývá:

$$F_z = \frac{\frac{q}{2}(x_3^2 - x_2^2) + F_k \cdot x_3}{x_1} = \frac{\frac{40,8}{2}(6^2 - 1,2^2) + 98,1 \cdot 6}{1,1} = 1\,176,2 \text{ N} \Rightarrow m_z = 119,9 \text{ kg}$$

kde:

F_z N je tíha závaží

m_z kg - hmotnost závaží

q $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ - liniové zatížení

x_1, x_2, x_3 m - rozměry ramena viz. schéma

F_k N - tíha kamerové hlavy a kamery

g $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ - gravitační zrychlení

5.1.3 Průhyb na konci ramena

- kvadratický moment průřezu:

$$J = \frac{A^4 - a^4}{12} = \frac{100^4 - 92^4}{12} = 2\,363\,392 \text{ mm}^4$$

kde:

J	mm ⁴	je kvadratický moment průřezu
A	mm	- vnější rozměr čtvercového průřezu
a	mm	- vnitřní rozměr čtvercového průřezu

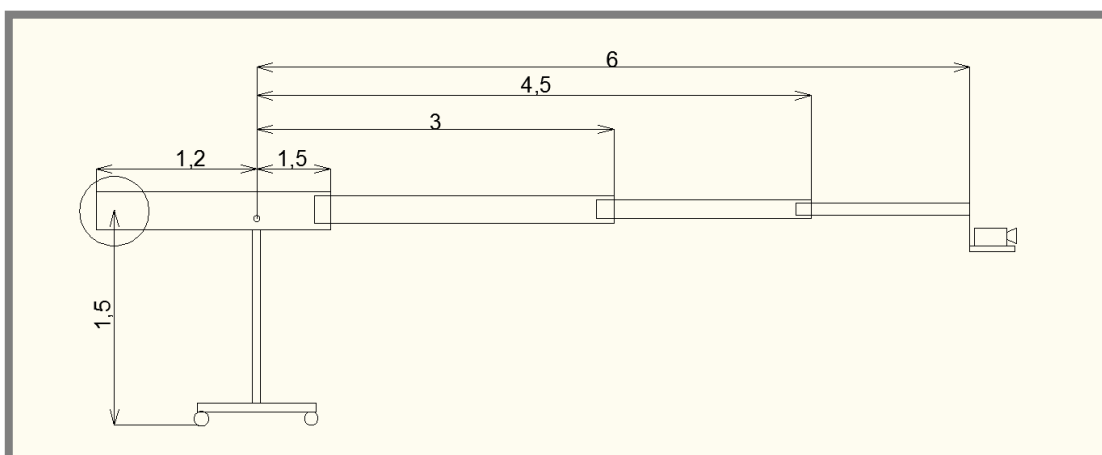
$$\Delta w = \frac{dW}{dF_k} = \int_0^{l/2} \frac{M_o}{E \cdot J} \cdot \frac{dM_o}{dF_k} \cdot dx = \frac{l^3 \cdot (14 \cdot F_k + 5 \cdot q \cdot l)}{48 \cdot E \cdot J} = 65,9 \text{ mm}$$

kde:

Δw	mm	je průhyb na konci ramena
W	J	- energie napjatosti
F	N	- síla od kamerové hlavy
M_o	N.m	- ohybový moment
E	Pa	- Youngův modul pružnosti
J	m ⁴	- kvadratický moment průřezu
l	m	- délka ramena

5.2 Varianta B

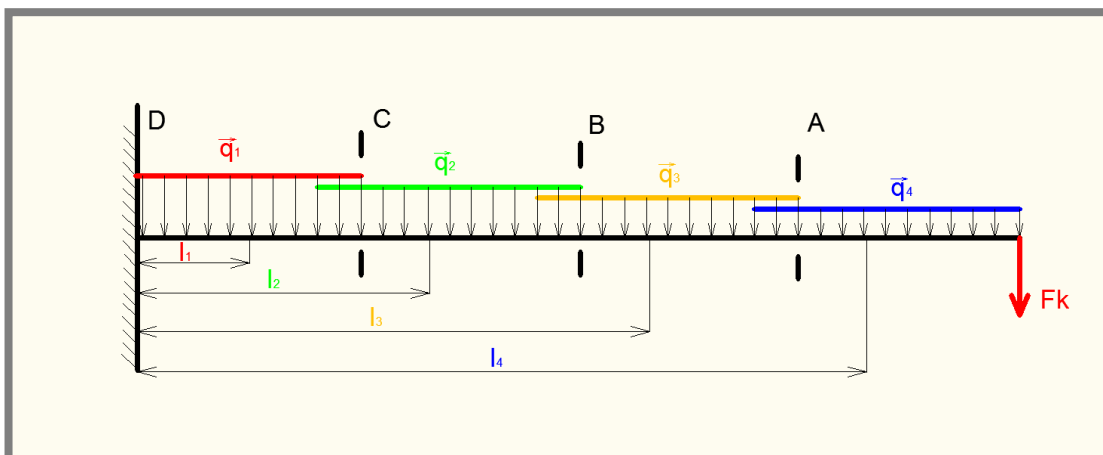
Druhou konstrukční variantou je teleskopické řešení ramena. Rameno je tvořeno čtyřmi moduly z hliníkové slitiny normalizovaných čtvercových profilů o délkách hran 120, 100, 80 a 60 mm. Tloušťka stěny profilu je stejná jako u předchozí varianty 4 mm. Jednotlivé části modulů se překrývají o 0,3 m, a proto musí být delší než u předchozího řešení. Délka prvního segmentu je 2,7 m, zbylé tři mají shodný rozměr 1,8 m. Tato varianta bude mít vyšší hmotnost a bude klást vyšší nároky na vymezení vůlí mezi profily, ale umožňuje plynulou regulaci délky ramena v rozmezí 1,8 – 6m. Délka zadní části ramena je opět zvolena s ohledem na ovládání a vyvážení jeřábu 1,2 m. Tato délka umožňuje dostatečný rozsah pohybu kolem horizontální osy (98°) aniž by docházelo ke kontaktu s podvozkovou částí.



Obr. 5-4 Schematické znázornění varianty B včetně základních rozměrů

5.2.1 Výpočet maximálních napětí působících v rameně jeřábu

- pro zjednodušení bude rameno nahrazeno nosníkem délky 6m vetknutého v místě otočného uložení a zatíženého vlastní tíhou a tíhou od kamerové hlavy a kamery.



Obr. 5-5 Zjednodušení ramena na vetknutý nosník se zatížením vlastní tíhou a silou od kamery a kamerové hlavy

- vlastní zatížení:

$$q = m_p \cdot g$$

- průřezový modul v ohybu:

$$W_o = \frac{A^4 - a^4}{6 \cdot A}$$

- kvadratický moment průřezu:

$$J = \frac{A^4 - a^4}{12}$$

Tab. 5-1 Parametry jednotlivých profilů ramena jeřábu

	profil 1 120x120mm	profil 2 100x100mm	profil 3 80x80mm	profil 4 60x60mm
m_p	5,01	4,15	3,28	2,42
g	9,81	9,81	9,81	9,81
q	49,15	40,80	32,21	23,73
W_o	$6,95 \cdot 10^{-5}$	$4,73 \cdot 10^{-5}$	$2,93 \cdot 10^{-5}$	$1,57 \cdot 10^{-5}$
J	$4,17 \cdot 10^{-6}$	$2,37 \cdot 10^{-6}$	$1,17 \cdot 10^{-6}$	$0,47 \cdot 10^{-6}$

kde:

W_o	mm^3	je průřezový modul v ohybu
q	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$	- liniové zatížení
m_p	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	- poměrná hmotnost profilu
g	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	- gravitační zrychlení
J	mm^4	- kvadratický moment průřezu
A	mm	- vnější rozměr čtvercového průřezu
a	mm	- vnitřní rozměr čtvercového průřezu

Napětí v bodech A, B, C, D

-příklad výpočtu ohybového momentu pro bod D

$$M_o = F_k \cdot l + q_1 \cdot l_m \cdot l_1 + \dots + q_4 \cdot l_m \cdot l_4 = 1\,301 \text{ N} \cdot \text{m}$$

kde:

M_o N.m je ohybový moment

F_k N - tíha od kamerové hlavy a kamery

l_m m - délka modulu

q N.m⁻¹ - liniové zatížení

l m - rozměry ramena viz. Obr. 5-5

- napětí v bodě A $\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{401,09}{1,57 \cdot 10^{-5}} = 13,7 \text{ MPa}$

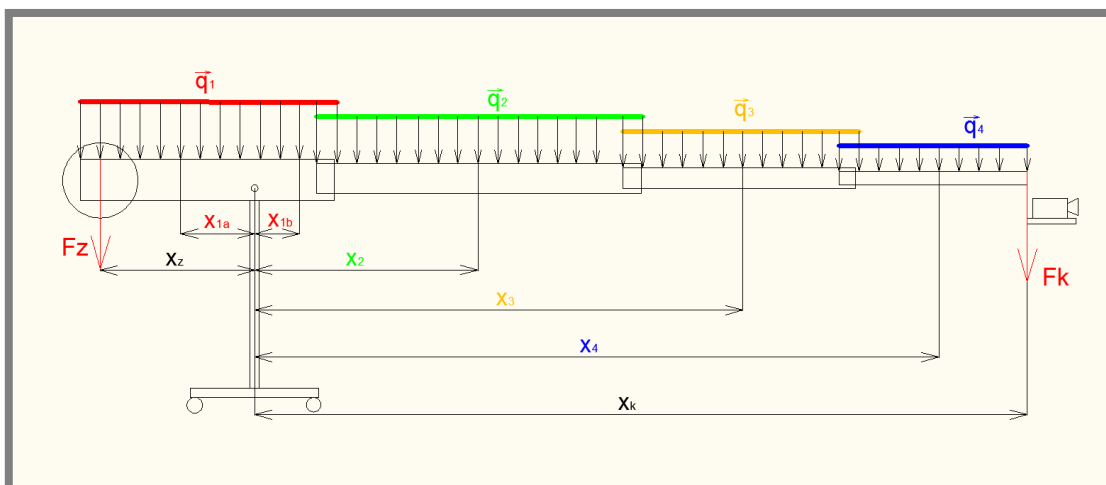
- napětí v bodě B $\sigma_o = \frac{520,67}{2,93 \cdot 10^{-5}} = 17,74 \text{ MPa}$

- napětí v bodě C $\sigma_o = \frac{844,50}{4,73 \cdot 10^{-5}} = 17,85 \text{ MPa}$

- napětí v bodě D $\sigma_o = \frac{1301}{6,95 \cdot 10^{-5}} = 18,73 \text{ MPa}$

5.2.2 Hmotnost protizávaží

5.2.2



Obr. 5-6 Uvolnění ramena s vyznačením spojitého zatížení od vlastní tíhy ramena a sil od kamerové hlavy a protizávaží

- z momentové podmínky rovnováhy k otočnému bodu vyplývá:

$$F_z = \frac{2 \cdot q_1 (x_{1b}^2 - x_{1a}^2) + q_2 \cdot l_m \cdot x_2 + q_3 \cdot l_m \cdot x_3 + q_4 \cdot l_m \cdot x_4 + F_k \cdot x_k}{x_1}$$

$$= \frac{2 \cdot 49,15(0,75^2 - 0,6^2) + 40,8 \cdot 1,8 \cdot 2,1 + 32,21 \cdot 1,8 \cdot 3,6 + 23,73 \cdot 1,8 \cdot 5,1 + 98,1 \cdot 6}{1,1}$$

$$= 1\,081,2 \text{ N} \Rightarrow m_z = 110,2 \text{ kg}$$

kde:

F_z N je tíha závaží

m_z kg - hmotnost závaží

q N.m⁻¹ - liniové zatížení

x_1, x_2, x_3, x_4 m - rozměry ramena viz. Obr. 5-6

F_k	N	- tíha kamerové hlavy a kamery
g	m.s^{-2}	- gravitační zrychlení

5.2.3 Průhyb na konci ramena

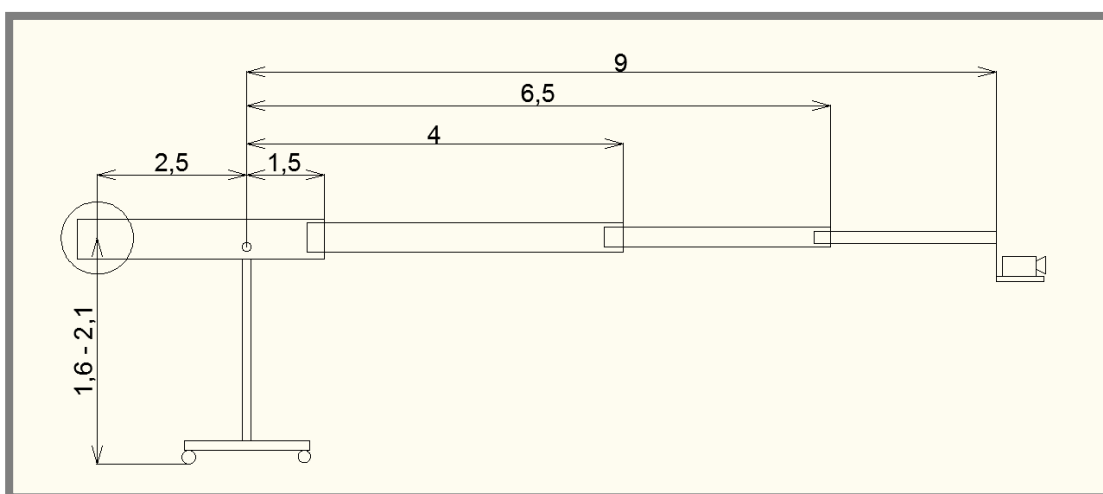
$$\Delta w = \frac{dW}{dF_k} = \sum_{i=1}^4 \int_0^{l_m/2} \frac{M_{oi}}{E \cdot J_i} \cdot \frac{dM_{oi}}{dF_k} \cdot dx_i = 0,0749 \text{ m} = 74,9 \text{ mm}$$

kde:

Δw	mm	je průhyb na konci ramena
W	J	- energie napjatosti
F_k	N	- síla od kamerové hlavy
M_o	N.m	- ohybový moment
E	Pa	- Youngův modul pružnosti
J	m^4	- kvadratický moment průřezu
l_m	m	- délka modulu ramena

5.3 Varianta C

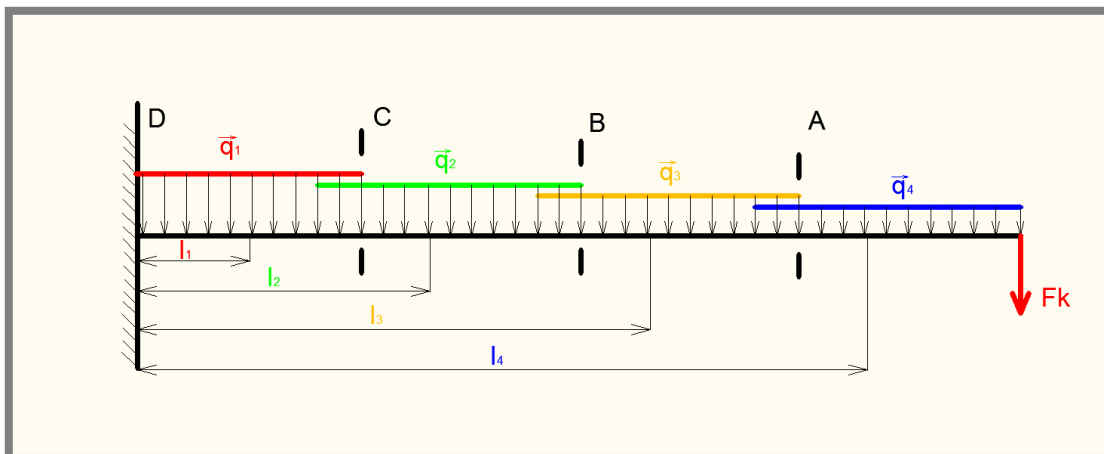
Třetí konstrukční řešení je stejně jako varianta B teleskopické. Tato varianta je však pojata se zaměřením na velkou tuhost celého zařízení, přesnost pohybu a možnost pořizování dynamických záběrů za pomoci výsuvného ramena s elektrickým pohonem. Vyložení ramena je 9 m a lze na jeho konec umístit sestavu kamerové hlavy a kamery o celkové hmotnosti 35 kg. Rameno je opět tvořeno čtyřmi moduly z hliníkové slitiny obdélníkových profilů o rozměrech 592 x 464, 516 x 388, 440 x 312 a 366 x 236 mm. Tyto profily nejsou normalizované, a proto musí být vyrobeny svařením normalizovaného plechu tloušťky 8 mm. Délka prvního segmentu je 4 m, zbylé tři mají shodný rozměr 3 m. Toto uspořádání dovoluje plynule měnit délku ramena v rozmezí 2,1 – 9 m. Délka zadní části ramena je zvolena s ohledem na ovládání a vyvážení jeřábu 2,5 m. Tato délka je vyšší než u předchozích variant. Důvodem je potřeba vyvážení mnohem většího točivého momentu, který je způsoben větší délkou ramena a více než trojnásobnou hmotností kamery a kamerové hlavy. Aby bylo vyhověno pohodlnému ovládání a zároveň velkým úhlům natočení kolem horizontální osy, je sloup jeřábu také teleskopický a umožňuje plynulou regulaci výšky ramena v rozmezí 1,6 – 2,1 m.



Obr. 5-7 Schematické znázornění varianty C včetně základních rozměrů

5.3.1 Výpočet maximálních napětí působících v rameni jeřábu

- pro zjednodušení bude rameno nahrazeno nosníkem délky 9m vetknutého v místě otočného uložení a zatíženého vlastní tíhou a tíhou od kamerové hlavy a kamery.



Obr. 5-8 Zjednodušení ramena na vetknutý nosník se zatížením vlastní tíhou a silou od kamery a kamerové hlavy

vlastní zatížení:

$$q = m_p \cdot g$$

průřezový modul v ohybu:

$$W_o = \frac{A^4 - a^4}{6 \cdot A}$$

- kvadratický moment průřezu:

$$J = \frac{A^4 - a^4}{12}$$

Tab. 5-2 Parametry jednotlivých profilů ramena jeřábu

	profil 1 592x464mm	profil 2 516x388mm	profil 3 440x312mm	profil 4 366x236mm
m_p	33,83	28,9	23,98	19,12
g	9,81	9,81	9,81	9,81
q	331,83	283,52	235,20	187,53
W_o	2,27.10 ⁻³	1,67.10 ⁻³	1,16.10 ⁻³	7,44.10 ⁻⁴
J	6,60.10 ⁻⁴	4,21.10 ⁻⁴	2,48.10 ⁻⁴	1,32.10 ⁻⁴

kde:

W_o mm³ je průřezový modul v ohybu

q N.m⁻¹ - liniové zatížení

m_p kg.m⁻¹ - poměrná hmotnost profilu

g m.s⁻² - gravitační zrychlení

J mm⁴ - kvadratický moment průřezu

A mm - vnější rozměr čtvercového průřezu

a mm - vnitřní rozměr čtvercového průřezu

Napětí v bodech A, B, C, D

-příklad výpočtu ohybového momentu pro bod D

$$M_o = F_k \cdot l + q_1 \cdot l_m \cdot l_1 + \dots + q_4 \cdot l_m \cdot l_4 = 27\,070 \text{ N} \cdot \text{m}$$

kde:

M_o N.m je ohybový moment

F_k N - tíha od kamerové hlavy a kamery

l_m m - délka modulu

q N.m⁻¹ - liniové zatížení

l m - rozměry ramena viz. schéma

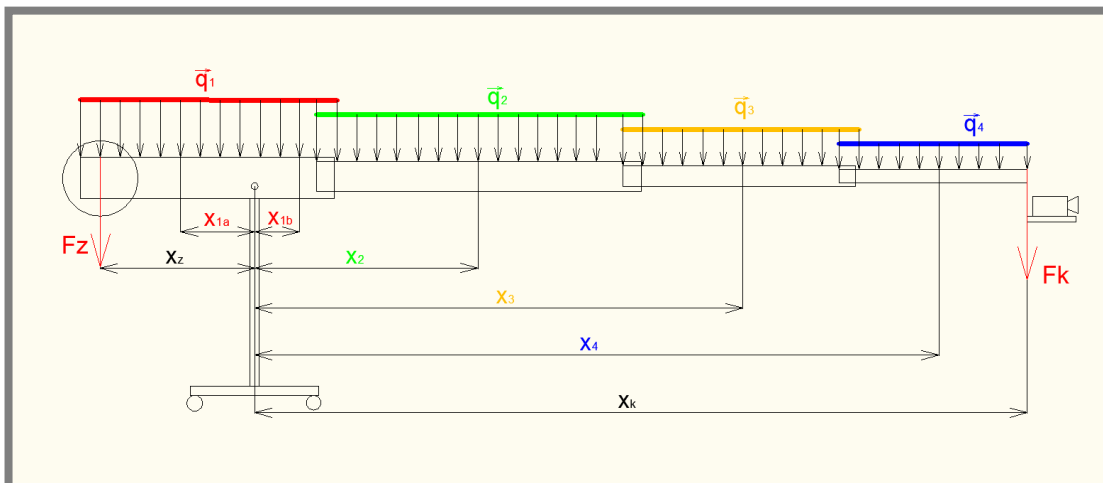
- napětí v bodě A $\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{1792}{7,44 \cdot 10^{-4}} = 2,41 \text{ MPa}$

- napětí v bodě B $\sigma_o = \frac{6662}{1,16 \cdot 10^{-3}} = 5,74 \text{ MPa}$

- napětí v bodě C $\sigma_o = \frac{14870}{1,67 \cdot 10^{-3}} = 8,90 \text{ MPa}$

- napětí v bodě D $\sigma_o = \frac{27070}{2,27 \cdot 10^{-3}} = 11,93 \text{ MPa}$

5.3.2 Hmotnost protizávaží



Obr. 5-9 Uvolnění ramena s vyznačením spojitého zatížení od vlastní tíhy ramena a sil od kamerové hlavy a protizávaží

- z momentové podmínky rovnováhy k otočnému bodu vyplývá:

$$F_z = \frac{2 \cdot q_1 (x_{1b}^2 - x_{1a}^2) + q_2 \cdot l_m \cdot x_2 + q_3 \cdot l_m \cdot x_3 + q_4 \cdot l_m \cdot x_4 + F_k \cdot x_k}{x_z}$$

$$= \frac{2 \cdot 331,83(0,75^2 - 1,2^2) + 283,52 \cdot 3 \cdot 2,5 + 235,20 \cdot 3 \cdot 5 + 187,53 \cdot 3 \cdot 7,5 + 343,35 \cdot 9}{2,4}$$

$$= 5\,159 \text{ N} \Rightarrow m_z = 525,9 \text{ kg}$$

kde:

F_z N je tíha závaží

m_z kg - hmotnost závaží

q N.m⁻¹ - liniové zatížení

x_1, x_2, x_3, x_4, x_z m - rozměry ramena viz. schéma

F_k N - tíha kamerové hlavy a kamery

g m.s⁻² - gravitační zrychlení

5.3.3 Průhyb na konci ramena

$$\Delta w = \frac{dW}{dF_k} = \sum_{i=1}^4 \int_0^{l_m/2} \frac{M_{oi}}{E \cdot J_i} \cdot \frac{dM_{oi}}{dF_k} \cdot dx_i = 0,0541 \text{ m} = 54,1 \text{ mm}$$

kde:

Δw	mm	je průhyb na konci ramena
W	J	- energie napjatosti
F_k	N	- síla od kamerové hlavy
M_o	N.m	- ohybový moment
E	Pa	- Youngův modul pružnosti
J	m ⁴	- kvadratický moment průřezu
l_m	m	- délka modulu ramena

5.4 Zhodnocení a výběr optimální varianty

Výhodou varianty A je snadnější manipulace s jednotlivými moduly ramena a nižší celkový průhyb. Naopak nevýhodou je vyšší hodnota napětí, která je však stále velmi nízká v porovnání s napětím dovoleným. Teleskopická varianta B nabízí především snadnou variabilitu délky ramena. Tato vlastnost je velmi důležitá s ohledem na využití jeřábu, a proto se dále budeme zabývat konstrukčním řešením této varianty. Poslední variantu C nelze s předešlými srovnávat, protože je zadána jinými parametry. Umožňuje instalaci filmových kamer s mnohem vyšší hmotností na větší délce ramena. Za další výhodu této varianty lze považovat výsuv ramena během pořizování záběru, čímž vznikají tzv. dynamické záběry.

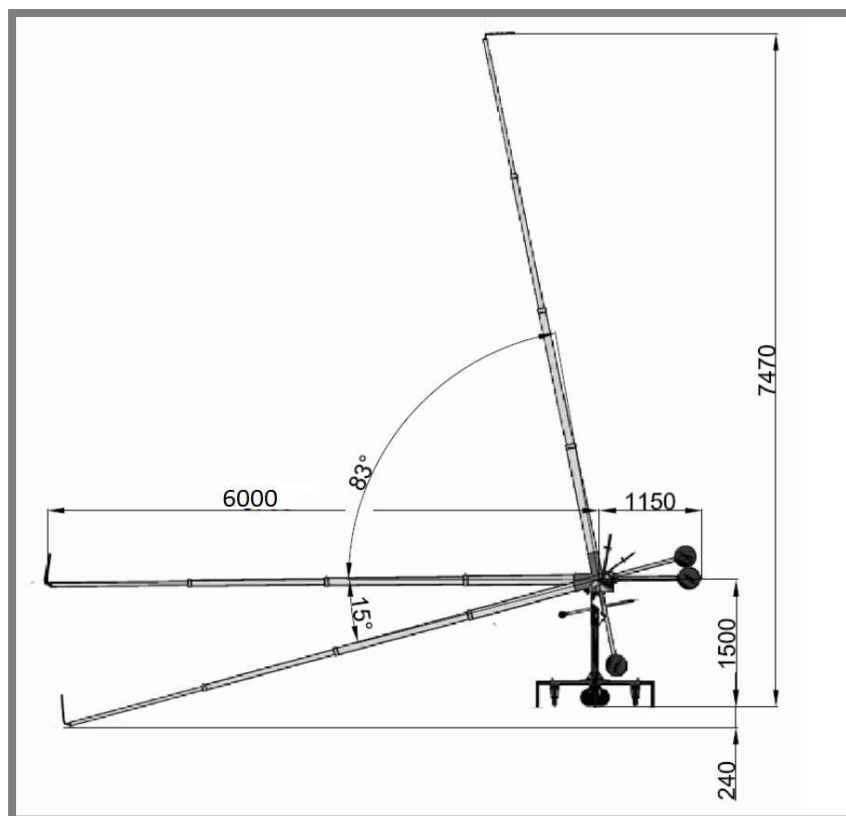
Tab. 5-3 Porovnání hlavních parametrů všech variant

	maximální napětí $\sigma_{\max}$ [MPa]	hmotnost závaží m_z [kg]	průhyb ramena Δw [mm]
Varianta A	27,7	119,9	65,9
Varianta B	18,7	110,2	74,9
Varianta C	11,9	525,9	54,1

6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

6.1 Varianta B

Jeřáb je koncipován jako zařízení, které umožňuje rotační pohyb kolem dvou na sebe kolmých os. Pohyb kolem osy horizontální je omezen dorazy v rozmezí 98° , aby zde nedocházelo, ke kontaktu závaží s podvozkovou částí na straně jedné nebo kamery se zemí na straně druhé. Pohyb kolem vertikální osa není ničím omezena. Při návrhu kamerového jeřábu je postupováno od ramena, jako stěžejní části celé konstrukce, až po mobilní podvozek na bantamových kolech.



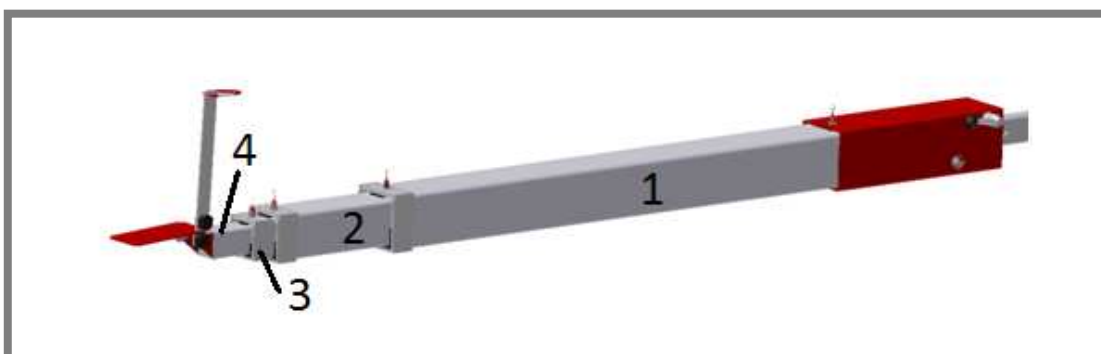
Obr. 6-1 Znárodnění kamerového jeřábu s vyznačením krajních poloh společně s hlavními rozměry

6.1.1 Rameno

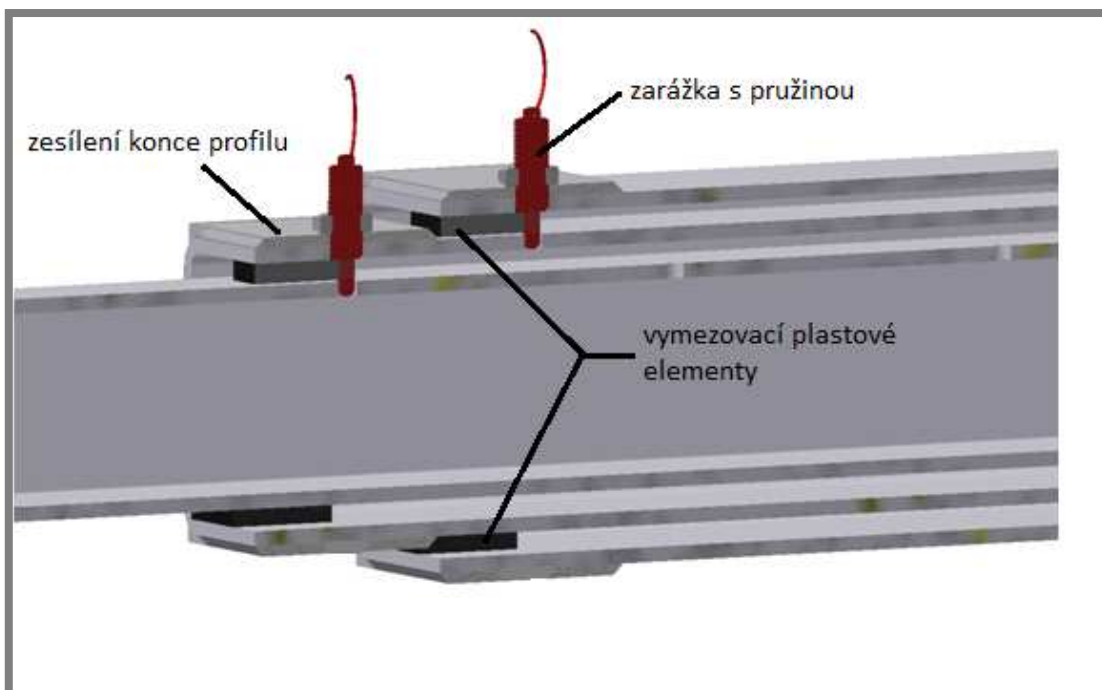
Rameno je tvořeno čtyřmi stupni z hliníkové slitiny. Rozměry všech čtyř stupňů jsou zvoleny tak, aby bylo možné jednotlivé stupně zasunout do sebe a aby při maximálním vysunutí byla vzdálenost kamery od osy otáčení 6m. Dále bylo zohledněno přenášené zatížení a použití normalizovaných profilů, což celou konstrukci zlevní a zjednoduší. Konstrukce je navržena tak, aby se jednotlivé stupně teleskopicky zasouvaly, což sníží hmotnost ramena i protizávaží. Teleskopická varianta má dále výhodu snadné plynulé regulace délky ramena a v neposlední řadě i kompaktní rozměry při dopravě.

Části ramena

První část ramena je nejmasivnější, protože je vystavena největšímu namáhání. Je tvořena trubkou čtvercového průřezu o délce vnější hrany 120mm a síle stěny 4mm. Na konci ramena je s ohledem na předpokládané vyšší koncentrace napětí profil zesílen navařením hliníkového plechu stejné tloušťky 4mm. V tomto zesílení je vyvrtán otvor se závitem M10 pro instalaci zarážky, která zapadá do následujícího stupně ramena. Zarážka je ovládaná ručně a je vybavena pružinou, která zamezuje možnosti ponechání odjištěné zarážky a následnému vypadnutí zbylých tří stupňů. Z vnější strany jsou nalepeny obdélníkové plastové elementy, které vymezují vůli a zlepšují kluzné podmínky mezi stupněm č.1 a ocelovým tubusem. Na vnitřní straně profilu je vymezení vůlí řešeno obdobně, změněna je pouze tloušťka plastových elementů. Vymezení těchto vůlí je velmi důležité, protože i minimální vůle blízko otočného bodu znamená na 6m dlouhém rameni výchylku několika milimetrů.



Obr. 6-2 Teleskopické rameno s označením jeho částí

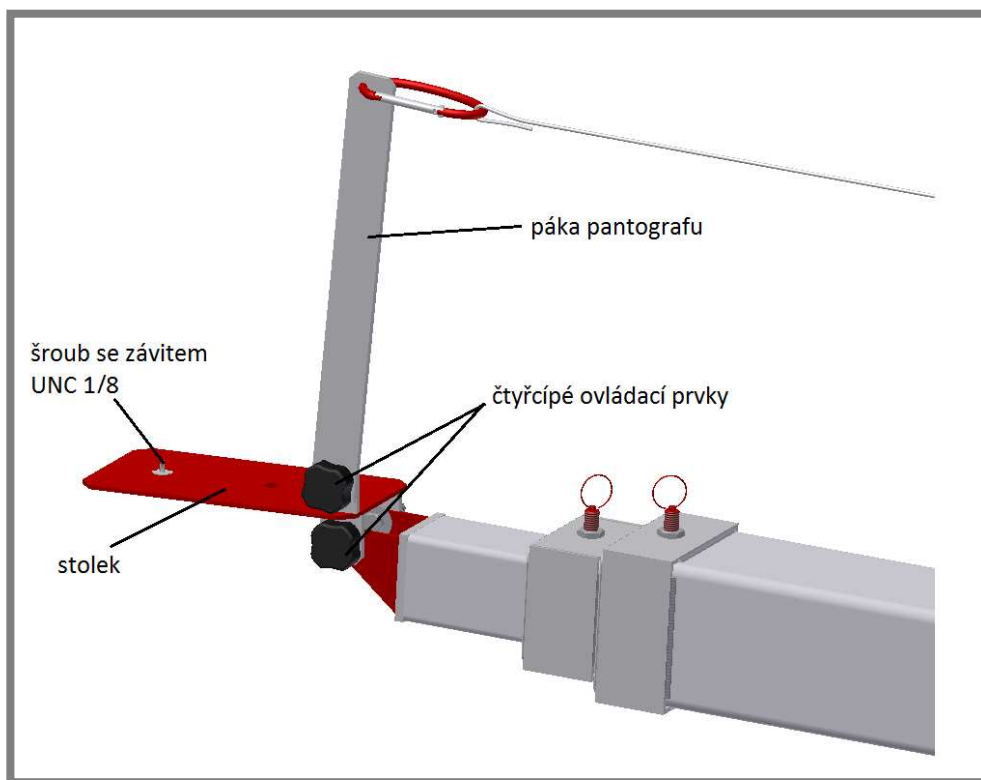


Obr. 6-3 Řez ramenem s popisem hlavních částí

Zbylé tři stupně jsou řešeny téměř stejným způsobem. Rozdíly spočívají pouze v úpravě rozměrů čtvercové trubky. Délka vnější hrany navazujících stupňů jsou tedy 100, 80 a 60mm. Konce všech stupňů jsou také opatřeny zesílením. Délka první části je 1500mm, zbylé tři mají shodnou délku 1800mm. Jednotlivé stupně se překrývají o 300mm, aby byla dodržena tuhost konstrukce a napětí vzniklé ve spojích bylo rozloženo na dostatečně velkou plochu. Rameno je vyrobeno z lehké slitiny hliníku AlMgSi0,5, aby byly minimalizovány setrvačné síly při natáčení, kvůli snadné manipulaci a v neposlední řadě snížení hmotnosti protizávaží.

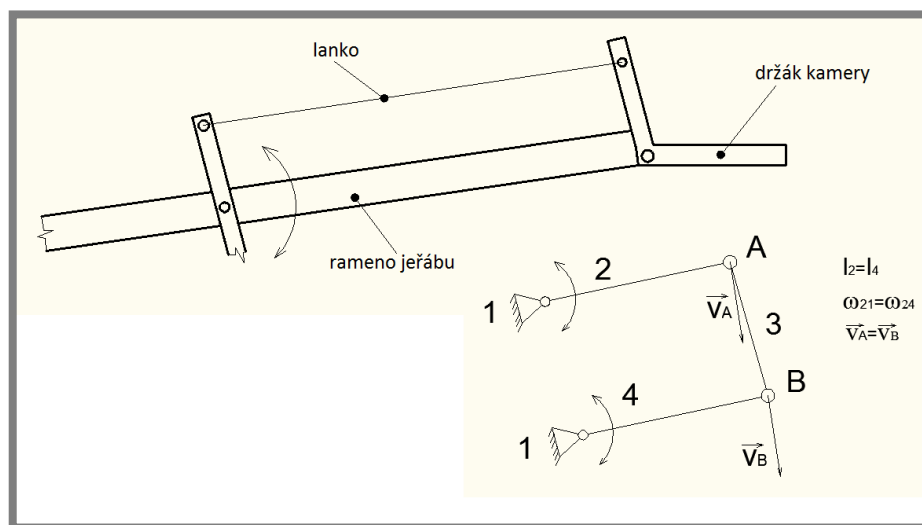
6.1.2 Držák kamery/fotoaparátu

Na konci čtvrtého stupně je umístěn držák kamery popř. fotoaparátu. Čelo posledního profilu je zaslepeno a na něj je přivařena konzola držáku z hliníkové slitiny. Vlastní držák kamery je svařenec zhotovený z ocelového plechu tloušťky 3mm a je ke konzole přišroubován dvěma šrouby M8. Držák je dále vybaven normalizovaným šroubem se závitem UNC 1/8, který je u fotoaparátů a kamer nejběžnější. S držákem lze manipulovat buď ručně, nastavením pevného úhlu nebo má-li být objektiv zaměřen stále do stejného bodu, lze využít jednoduchého pantografu.



Obr. 6-4 Držák kamery/fotoaparátu s popisem komponent

Tento čtyřčlenný mechanismus je tvořen vlastním ramenem jeřábu, dvěma nastavitelnými držáky a lankem. Ze schématu níže vyplývá, že pokud jsou délky členů 2 a 4 stejně dlouhé a rovnoběžné, pak je jejich úhlová rychlost i vektor rychlosti stejný. Tudiž i konce členu 3 se pohybují stejnou rychlostí i vektorem rychlosti. Toto zjištění nám zaručuje zachování polohy kamery při libovolném úhlu natočení ramena kolem horizontální osy.

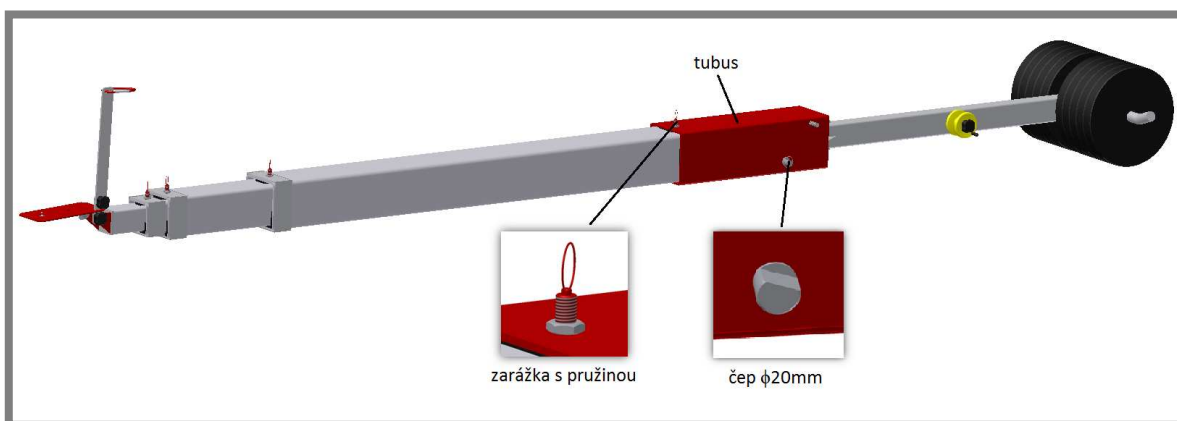


Obr. 6-5 Schéma čtyřčlenného mechanismu

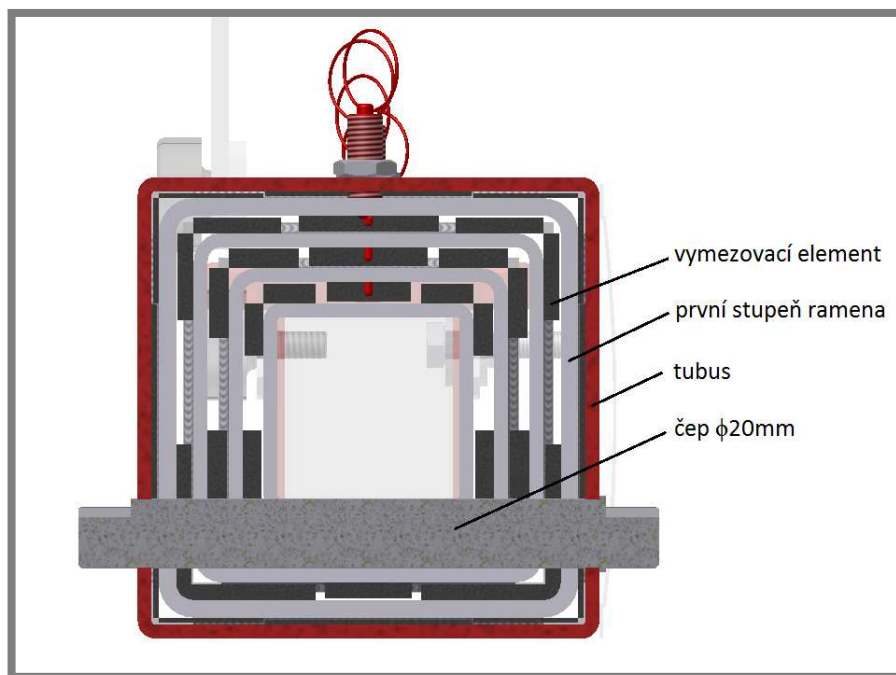
6.1.3

6.1.3 Tubus

Celé teleskopické rameno je vloženo do tubusu, který má stejně jako jednotlivé stupně čtvercový průřez. Jedná se o svařenec z ocelového plechu tloušťky 4mm, vnějších rozměrech 132x132mm a délkou 440mm. Ocelový materiál je zvolen s ohledem na přenášené zatížení i snadnější svařitelnost s ostatními navazujícími součástmi jakými jsou například hřídel horizontální osy, šroub pro aretaci polohy, držák závaží aj. Stejně jako jednotlivé stupně ramena, je i tubus vybaven zárážkou s pružinou, která umožňuje snadnou a rychlou demontáž celého ramena. Přibližně v jedné čtvrtině délky je do tubusu přivařen hřídel o průměru 20mm, který prochází skrz celý tubus a umožňuje rotační pohyb kolem horizontální osy. Oba válcové konce hřídele mají vyfrézované plošky, které společně s drážkami v držáku ramena zabezpečují rameno proti náhodnému vypadnutí.



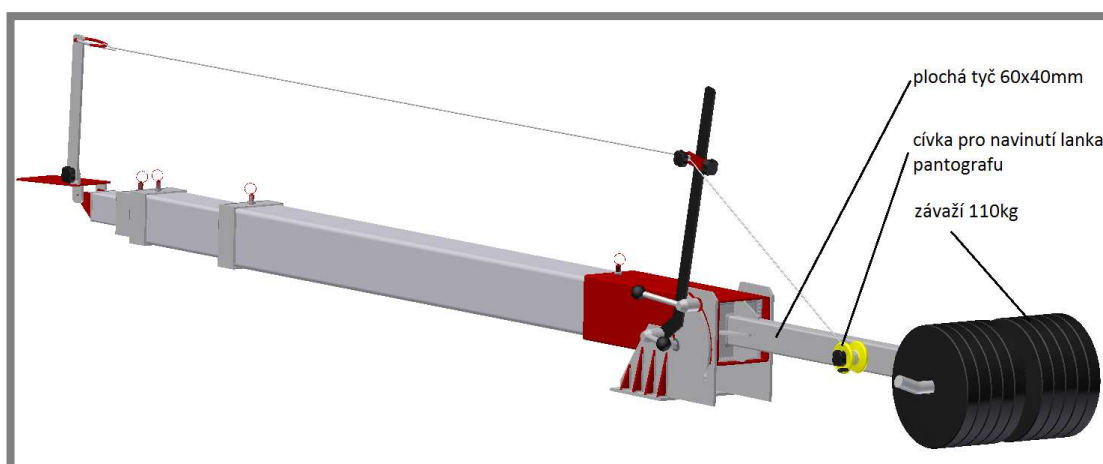
Obr. 6-6 Tubus s detaily vybraných komponent



Obr. 6-7 Řez tubusem v rovině čepu s popisem komponent

6.1.4 Protizávaží

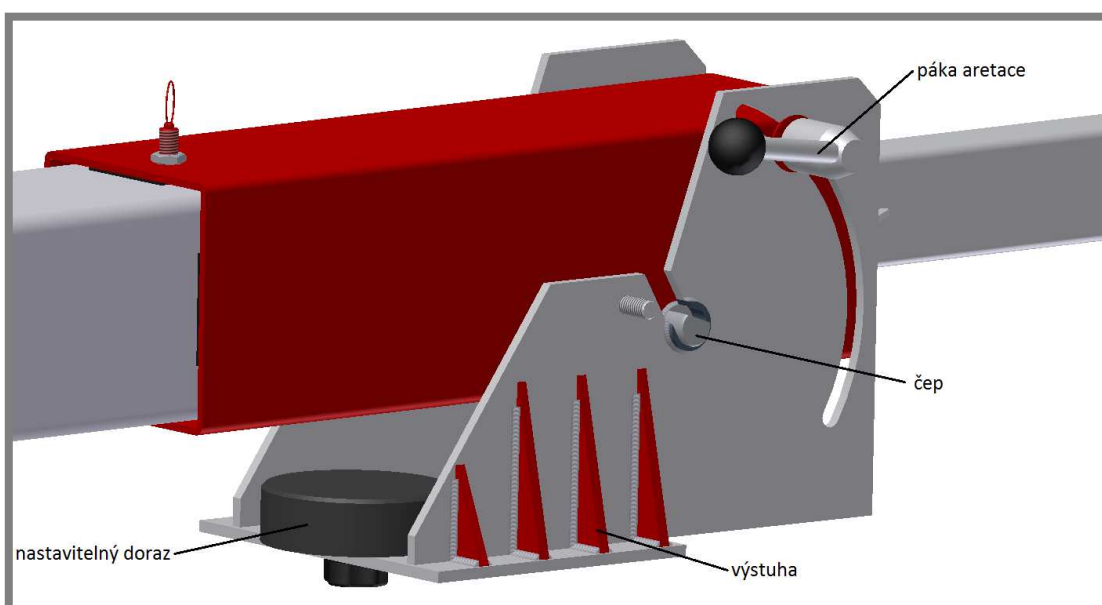
Držák závaží je z velké části vyroben z ocelové ploché tyče o průřezu 60x40mm a délce 900mm. Plný profil je zvolen z důvodu vyšší hmotnosti, o kterou může být hmotnost protizávaží nižší. Hmotnost ploché tyče je cca 17kg. Jeden konec tyče je za pomoci několika výztuh vevářen do vnitřku tubusu. Na druhém konci je navrtán otvor průměru 28mm, do kterého je vložena kruhová tyč průměru 26mm a z obou stran zavařena. Na tuto tyč je pak podle potřeby nasouváno závaží. Bylo zvoleno kotoučové závaží, které se běžně používá např. v posilovnách. Hmotnost protizávaží byla u této varianty předběžně stanovena na cca 110kg. Tato hodnota se v praxi ukázala jako dostatečná. Přibližně v polovině ploché tyče je vyvrtán otvor se závitem M8 pro umístění malé cívky, která slouží k navinutí lanka pantografu při montáži či demontáži jeřábu.



Obr. 6-8 Vyvažování s popisem komponent

6.1.5 Držák ramena

Dalším konstrukčním celkem je držák ramena. Jedná se o svařenec z ocelového plechu tloušťky 6mm. Držák je navržen tak, aby umožňoval požadovaný rozsah pohybu kolem horizontální osy min. 80°. Zároveň musí splňovat velkou tuhost, které je dosaženo použitím dostatečně silného plechu a vevařených výztuh. Tvar bočních plechů je navržen s ohledem na snadnou montáž či demontáž ramena a zakomponování aretace horizontální osy. Chceme-li vyjmout rameno z držáku, pootočíme s ním do krajní polohy, kdy je kamera v nejvyšším možném bodě a pohybem vzhůru vyjmeme rameno. Aretace je zde řešena pomocí tření mezi držákem a tubusem. Při správně zvolené hodnotě protizávaží lze osu zablokovat lehkým dotažením aretační páky. Na spodní straně držáku je vyvrtán otvor se závitem M8 pro instalaci nastavitelného pryžového dorazu, který eliminuje kolizi kamery se zemí.

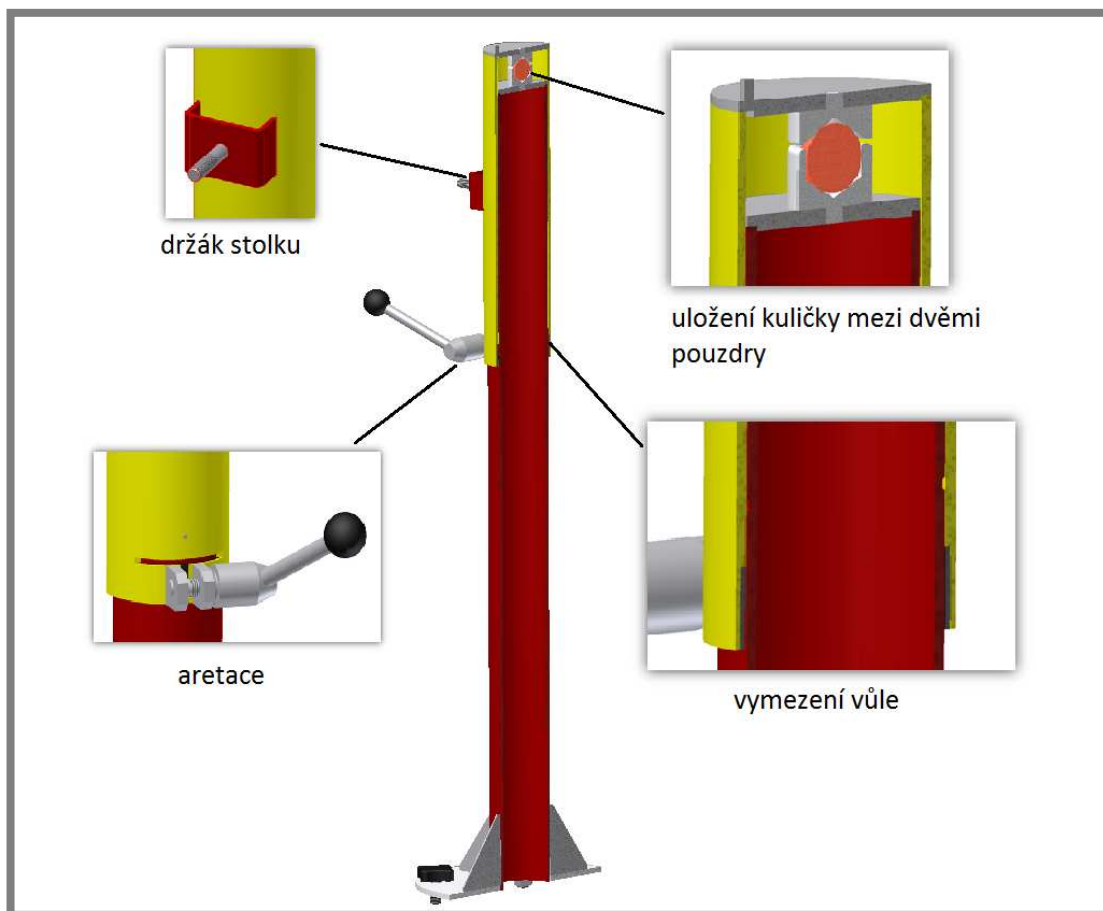


Obr. 6-9 Držák ramena s popisem komponent

6.1.6 Otočný sloup

Hlavními částmi otočného sloupu jsou trubky kruhového průřezu. Jejich průměry a tloušťky stěn jsou zvoleny nejen s ohledem na dostatečnou tuhost konstrukce, ale i s ohledem na dosažení minimální vůle mezi vnější a vnitřní trubkou při volbě normalizovaného profilu. Optimální variantou je kombinace kruhových trubek 89x4mm a 80x4mm. Při takto zvolených trubkových profilech je vůle mezi nimi 1mm. Tato vůle je poměrně snadno vymezena pomocí vlepeného plastového kroužku tloušťky 2mm do vybrání na vnitřní straně vnější trubky. Otočný pohyb mezi trubkami je realizován pomocí dvou pouzder, ve kterých jsou vyvrtány mělké otvory pro uložení kalené kuličky o průměru jednoho palce. Toto řešení bylo navrženo kvůli možnosti snadného rozebrání sloupu na rozdíl od použití např. axiálního valivého ložiska. Naopak proti náhodnému vypadnutí vnější trubky je sloup pojištěn stavěcím šroubem M3, který zapadá do drážky na vnějším obvodu vnitřní trubky. Aretace rotačního pohybu kolem vertikální osy je realizována svěrným spojem, který je vytvořen příčným i podélným nařiznutím vnější trubky a přivařením dvou ocelových elementů spojených šroubem a maticí s pákou. Dotažením této páky vznikne

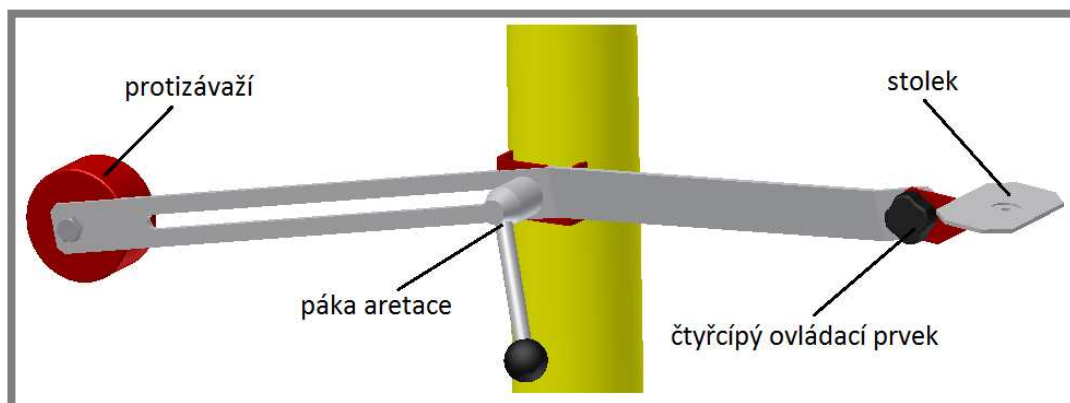
dostatečná třecí síla, která zamezí pohybu kolem vertikální osy. Na spodním konci vnitřní trubky je přivařena kruhová základna tloušťky 6mm se čtyřmi otvory pro šrouby M12, kterými je sloup připevněn k podvozku.



Obr. 6-10 Podélný řez otočným sloupem s detaily

6.1.7 Stolek

Na vnější trubce je přivařen držák stolku pro LCD monitor či menší notebook. Tento stolek se skládá ze základní obdélníkové desky pro připevnění potřebného zařízení. Její sklon lze libovolně nastavit díky šroubovému spoji mezi konzolou desky a držákem celého stolku. Vzdálenost mezi základní deskou a otočným bodem na sloupu jeřábu je také volitelná a to v rozmezí 510-830mm. Předpokládané maximální zatížení stolku jsou 3kg. Pro snadnější obsluhu, při nastavování polohy stolku, je použito protizávaží o hmotnosti 1,5kg.

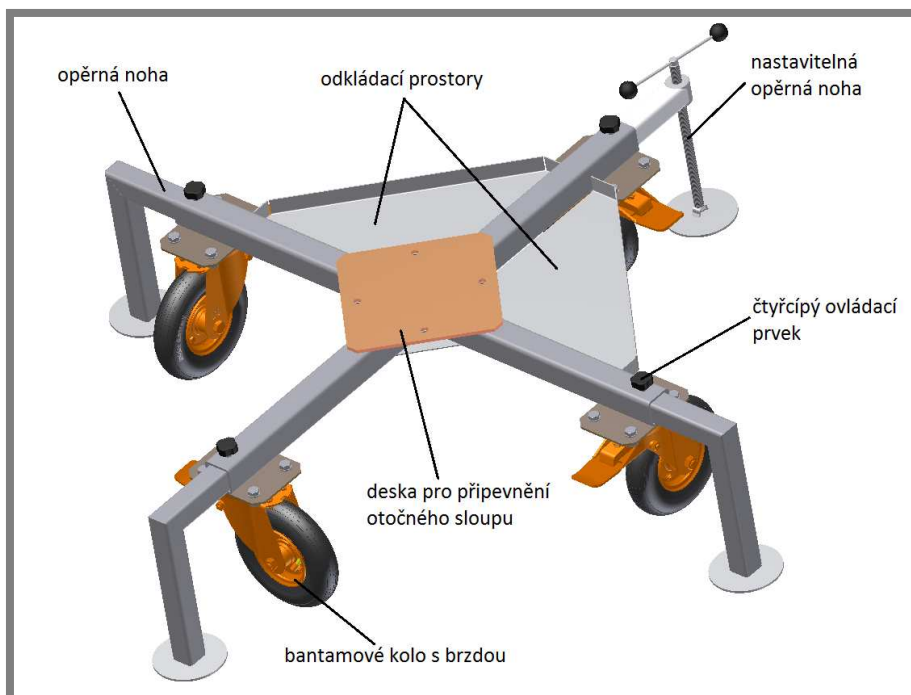


Obr. 6-11 Stolek s popisem komponent

6.1.8 Podvozek

6.1.8

Podvozek musí splňovat několik základních podmínek, kterými jsou dostatečná tuhost, stabilita a snadná mobilita. Základem podvozku jsou dvě ocelové trubky čtvercového průřezu o rozměru 50mm a tloušťce stěny 4mm. Tyto trubky jsou 1 000mm dlouhé a svírají mezi sebou úhel 90°. Rozměr trubek je zvolen nejen s ohledem na přenášené zatížení, ale i na dosažení, co možná nejmenší vůle mezi trubkou a opěrnými nohami, které se zasouvají do jejich konců. K základu podvozku jsou dále přivařeny obdélníkové držáky se čtyřmi otvory M10, které slouží k instalaci bantamových kol. Kola od firmy Blicke jsou dostatečně velká pro překonávání terénních nerovností. Jejich hlavními parametry jsou průměr kola 200mm, únosnost 75kg a možnost zabrzdění pomocí integrované brzdy. V místě, kde se osy trubek protínají, je k nim z horní strany přivařena ocelová čtvercová deska tloušťky 6mm o hraně 250mm se čtyřmi šrouby M12 s roztečí 4x200mm, které slouží k připojení otočného sloupu. Ze spodní strany čtvercových trubek je také přivařena deska. Tato deska slouží pouze jako držák plechových schránek, a proto je zhotovena z plechu o tloušťce pouze 2mm. Plechové schránky mají trojúhelníkový tvar se zkosenými rohy a s obrubou z jedné strany. Jsou dvě a slouží jako odkládací prostor. Schránky jsou pouze položeny, jedním rohem na středové desce, zbylé dva rohy leží na držácích kol. Toto ukotvení umožňuje snadnou demontáž či změnu uspořádání schránek. Chceme-li jeřáb připravit k natáčení, je nutné ho nejprve stabilizovat. K tomuto účelu slouží opěrné nohy, které základnu jeřábu rozšíří a také eliminují výkyvy způsobené pružností pneumatik. Tři nohy jsou pevné, vyrobené ze čtvercové trubky o hraně 40 mm a tloušťce stěny 4mm. Mezi vnitřní stěnou základního kříže a vnější stěnou opěrné nohy vzniká vůle o velikosti 2mm. Tato vůle je společně se zajištěním nohy řešena pomocí šroubu M6 s ručním ovládáním, který tlačí na vnější stěnu opěrné nohy. Jedna noha je z důvodu dorovnání na nerovném povrchu vybavena maticí a šroubem s trapézovým závitem o průměru 16mm a stoupáním 4mm.



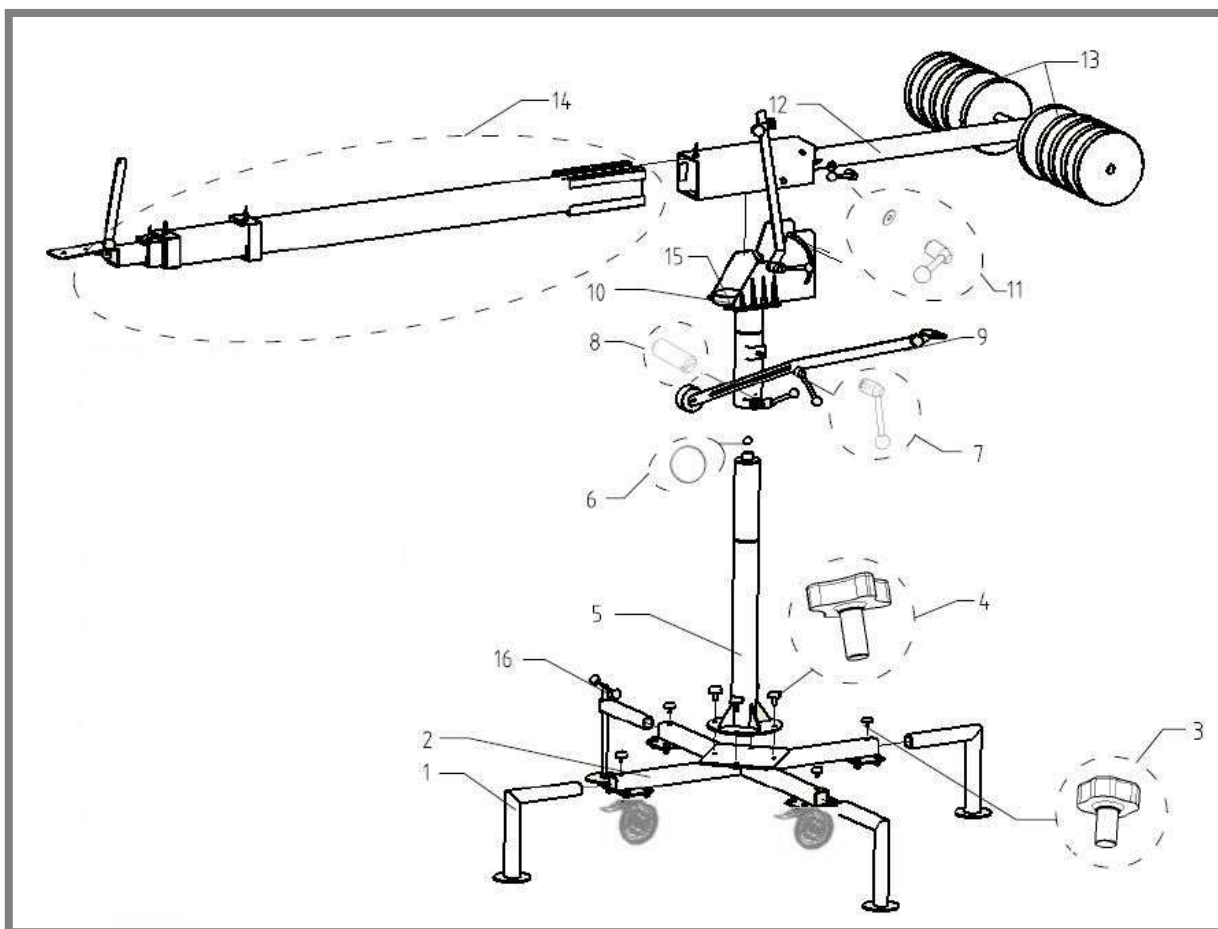
Obr. 6-12 Podvozek s popisem komponent

6.1.9 Sestavení jeřábu

Při používání jeřábu se často bude měnit jeho obsluha. Proto je s ohledem na bezpečnost obsluhy i zachování funkčnosti jeřábu, nutné vypracovat stručný montážní postup. Montážní postup se skládá ze schématu s detaily jednotlivých komponent. Pro snadnou orientaci byly komponentám přiřazeny číselné pozice.

Postup montáže:

- 1) K základně (2) připevněte pomocí šroubů (3) tři stabilizační podpěry pozice(1) a jednu stavitelnou (16), která umožní vyrovnaní jeřábu v terénu.
- 2) Na základnu (2) připevněte sloup (5) pomocí šroubů (4).
- 3) Do lože v horní části sloupu (5) vložte kuličku o průměru jednoho palce (6).
- 4) Nasad'te držák ramena (10) na sloup (5) a zajistěte proti vypadnutí šroubem (8).
- 5) Vsaďte do pouzder držáku (10) rameno s držákem závaží (12) a zajistěte proti pootočení aretační pákou (11) (nezapomeňte vložit podložku).
- 6) Do držáku závaží (12) vsaďte výsuvné rameno(14) a vyvažte protizávažím viz. doporučené vyvažování. Min. sklon ramena lze vymežit posuvným dorazem (15).
- 7) Držák monitoru (9) je možno připevnit pomocí páky (7).



Obr. 6-13 Montážní schematický náčrtek kamerového jeřábu s pozicemi

Doporučené vyvažování:

1) bez vysunutí ramena	35 kg
2) s vysunutou první částí ramena	45 kg
3) s vysunutou druhou částí ramena	60 kg
4) s vysunutou třetí částí ramena	70 kg

pozn.: - číslování částí ramena je vzestupné od osy otáčení
 - tyto hodnoty byly stanoveny bez zatížení na konci ramena

6.1.10 Kontrolní výpočty

6. 1.10

Při konstrukčním řešení je vycházeno z pevnostních výpočtů uvedených v předchozí kapitole. Tyto výpočty však nejsou úplné a slouží pouze pro posouzení jednotlivých variant. Proto je nutné najít nejvíce namáhané uzly a určit v nich průběhy napětí či velikosti deformací. Při výpočtech je užito analytické řešení, základní vztahy pružnosti a pevnosti a ve složitějších případech bude využito numerické řešení za pomoci metody konečných prvků, konkrétně programu Ansys 12.1.

Kontrola čepu horizontální osy jeřábu

Materiálem čepu je konstrukční ocel 11 500. Mez kluzu této oceli je $R_e=265\text{MPa}$ a dovolený stykový tlak $p_D=120\text{MPa}$.

Síla od ramena

$$F = \frac{1}{2} \cdot m \cdot g = \frac{1}{2} \cdot 154,9,81 = 755 \text{ N}$$

kde:

F	N	je síla od ramena
m	kg	- celková hmotnost ramena a protizávaží
g	ms^{-2}	- gravitační zrychlení

Kontrola na ohyb

$$\sigma_{omax} = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{32 \cdot F \cdot a}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 755 \cdot 0,007}{\pi \cdot 0,02^3} = 6,73 \text{ MPa} < R_e$$

kde:

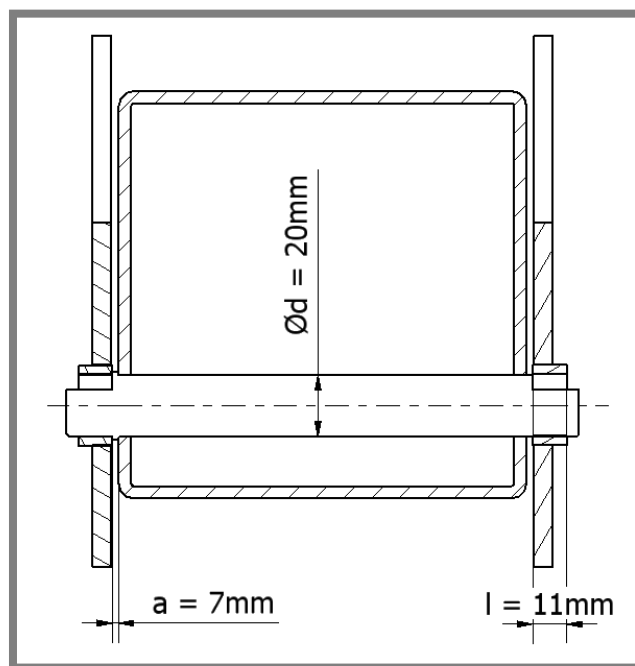
M_{omax}	N.m	je maximální ohybový moment
W_o	m^3	- modul průřezu v ohybu
F	N	- síla od ramena
a	m	- vzdálenost síly od podpory
d	m	- průměr čepu
R_e	Pa	- mez kluzu materiálu

Kontrola na otlačení

$$p = \frac{F}{l_s \cdot d} = \frac{755}{0,011 \cdot 0,02} = 3,45 \text{ MPa} < p_D$$

kde:

F	N	je síla od ramena
l_s	m	- délka styčné plochy
d	m	- průměr čepu
p_D	Pa	- dovolený tlak



Obr. 6-14 Řez uložením ramena

Průhyb podvozku

Podvozek je vyroben ze čtvercových tyčí o délce vnější hrany 50mm a tloušťce stěny 4mm. Materiálem je ocel 11 353 s modulem pružnosti $E=2,05 \cdot 10^5$ MPa.

$$\begin{aligned} \Delta w = \frac{dW}{dF_j} &= \int_0^{l_p/2} \frac{M_o}{E \cdot J} \cdot \frac{dM_o}{dF_j} \cdot dx \\ &= \int_0^{l_p/2} \frac{6 \cdot F \cdot x^2}{(A^4 - a^4) \cdot E} \cdot dx \\ &= \int_0^{0,5} \frac{6 \cdot 608 \cdot x^2}{(0,05^4 - 0,042^4) \cdot 2,05 \cdot 10^5} \cdot dx = 0,000236 = 0,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

kde:

F_j	N	je tíhová síla od jeřábu
l_p	m	- délka nosníku podvozku
M_o	N.m	- ohybový moment
E	Pa	- modul pružnosti v tahu
J	mm ⁴	- kvadratický moment průřezu
A	m	- vnější délka hrany čtvercové trubky
a	m	- vnitřní délka hrany čtvercové trubky

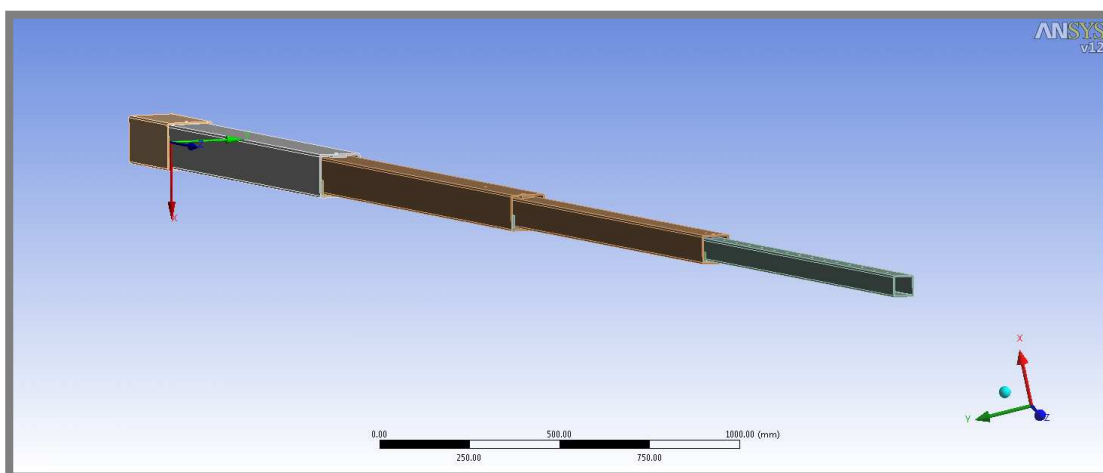
6.1.11 Pevnostní analýza ramena

6.1.11

U ramena, jednoho z nejzatíženějšího prvku kamerového jeřábu, je nutné provést deformačně napěťovou analýzu, abychom zjistili nejenom správnost zvolených rozměrů a materiálů, ale i maximální průhyb, který je důležitý z hlediska použitelnosti zařízení. Analýza bude provedena v programovém prostředí ANSYS Workbench 12.1.

Import geometrie a nastavení kontaktů

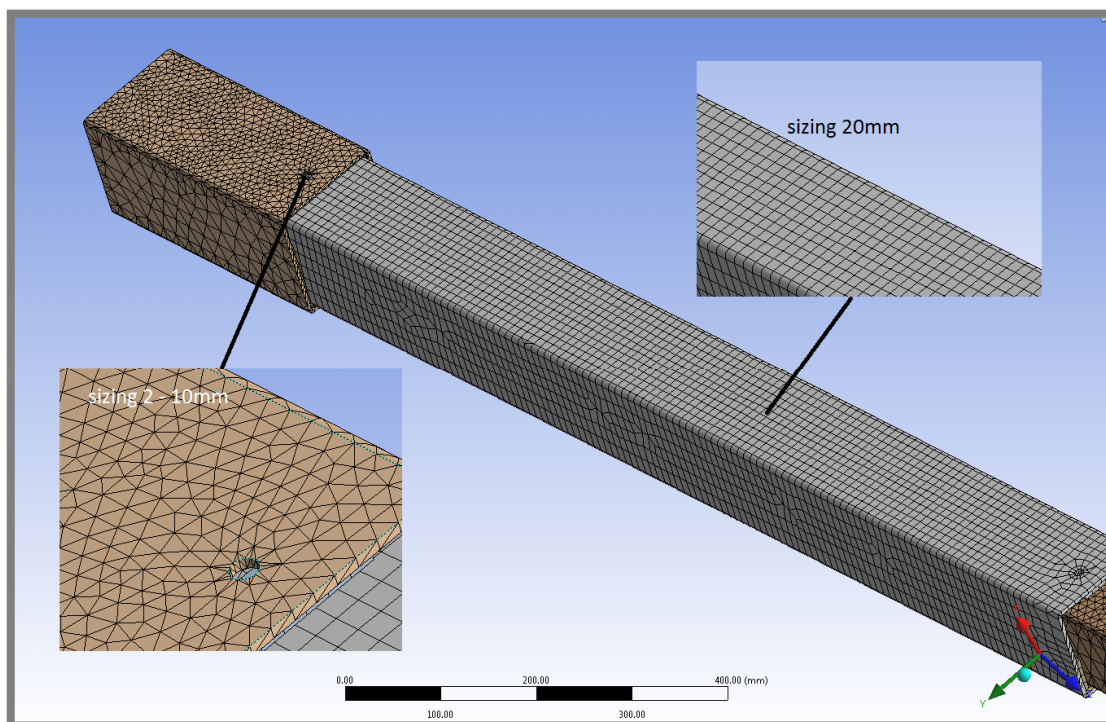
Geometrie ramena je upravena pro potřeby výpočtu, což znamená, že jsou odstraněny všechny přebytečné prvky, které nemají zásadní vliv na výsledek analýzy. Kdyby byly tyto prvky v modelu ponechány, znamenalo by to výrazné prodloužení výpočetních časů. Nejvyšší napětí a deformace jsou předpokládány při maximálním vysunutí v části ramena, vymezené otočným bodem a držákem kamery, proto je zbytek ramena odstraněn. Geometrie je, díky vzájemné kompatibilitě programů Ansys Workbench a Autodesk Inventor 2010, přímo importována. Po importu sestavy program automaticky nastaví kontakty mezi všemi prvky. Bohužel ve většině případů nesprávně, a proto jsou tato spojení upravena manuálně. Ve všech případech spojení je vybrán kontakt „bonded“, který zajistí, aby se výsledné těleso, vzniklé ze sestavy, chovalo jako jeden celek, což napomáhá k lepší návaznosti konečnoprvkové sítě.



Obr. 6-15 Výchozí geometrie pro deformačně napěťovou analýzu

Konečnoprvková síť

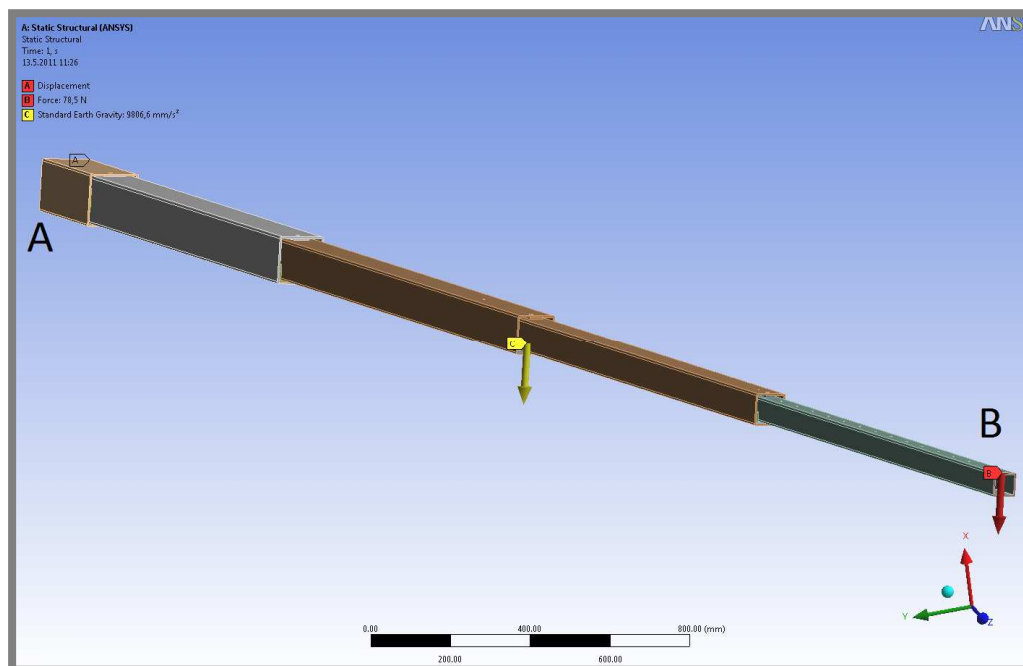
Konečnoprvková síť zásadním způsobem ovlivňuje výsledky, proto je důležité zvolit ji optimálně. Síť musí být dostatečně hustá, aby byly výsledky co nejpřesnější. Zároveň však nesmí být přehuštěna, aby byl výpočet proveditelný v akceptovatelném čase. Vhodnost dané sítě vždy posuzuje uživatel s ohledem na své dosavadní zkušenosti s MKP. Základním prvkem, který program používá pro 3D součásti je desetiuzlový tetraedron tzv. „solid 187“. Pro součásti pravidelného obdélníkového tvaru je vhodnější použít dvacetiuuzlový prvek „solid 186“. K definování velikosti prvků slouží funkce „sizing“. V oblasti otvorů je velikost prvků 2mm, naopak na velkých plochách se pohybuje v rozmezí 15 až 20mm. Následující obrázek ukazuje konečnoprvkovou síť použitou při deformačně napěťové analýze ramena.



Obr. 6-16 Konečnoprvková síť s detaily

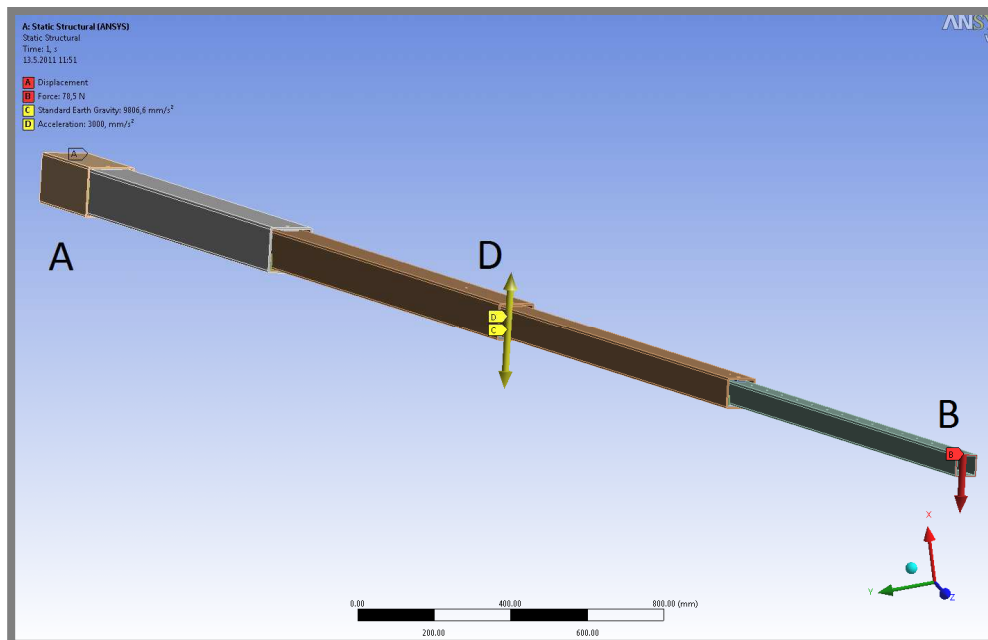
Vazby a zatížení

Úloha je zjednodušená na vetknutý nosník, proto je v místě „A“ použita vazba „displacement“ se zafixováním pohybu ve všech směrech. Rameno je pak zatíženo vlastní tíhou „Standard Earth Gravity“ a na konci v místě „B“ je hmotnost kamery 8kg nahrazena silou o velikosti 78,5N.



Obr. 6-17 Zatížení ramena

Pro ověření dostatečné tuhosti ramena je provedena další analýza s obdobnými podmínkami zatížení. Přibylo zde pouze zatížení v podobě zrychlení resp. zpomalení, které simuluje podmínky při používání. Velikost zpomalení byla stanovena kvalifikovaným odhadem zadavatele na $3\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.



Obr. 6-18 Zatížení ramena se zpomalením

Materiál

Jak už je zmíněno v kapitole 6.1, rameno je vyrobeno z lehké slitiny hliníku AlMgSi0,5. Následující tabulka obsahuje všechny materiálové parametry potřebné pro definování materiálu v programu Ansys Workbench.

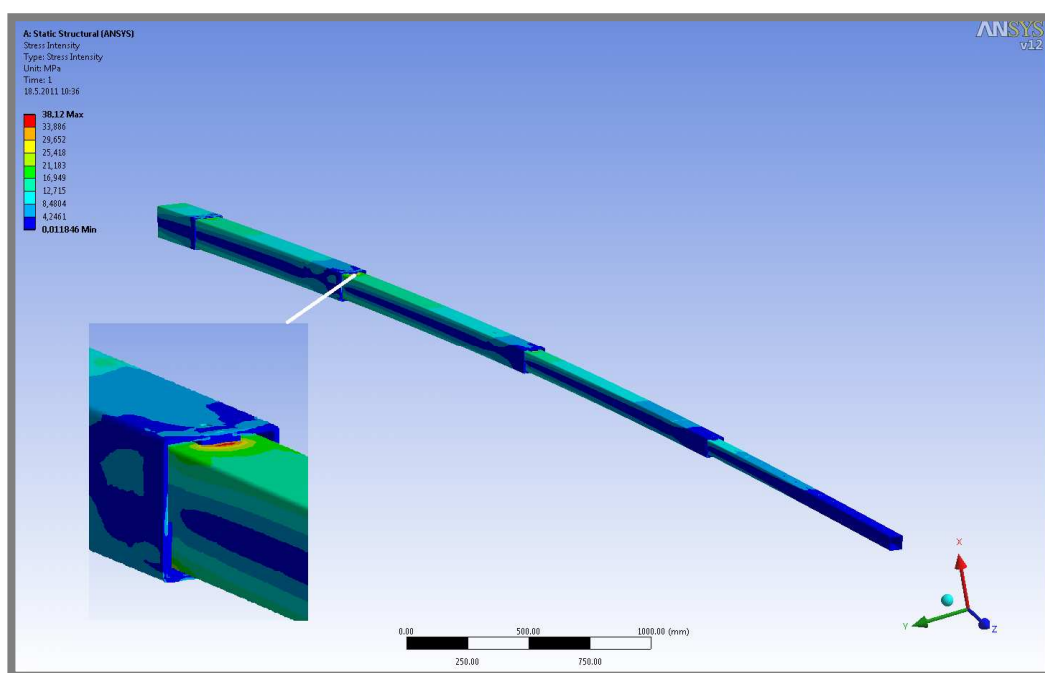
Tab. 6-1 Vlastnosti materiálu

HLINÍKOVÁ SLITINA AlMgSi0,5	
izotropní	
EX=0,75x10 ⁵ [MPa]	
PRXY=0,34 [-]	
Rm=215 [MPa]	
Re=160 [MPa]	
A=8 [%]	

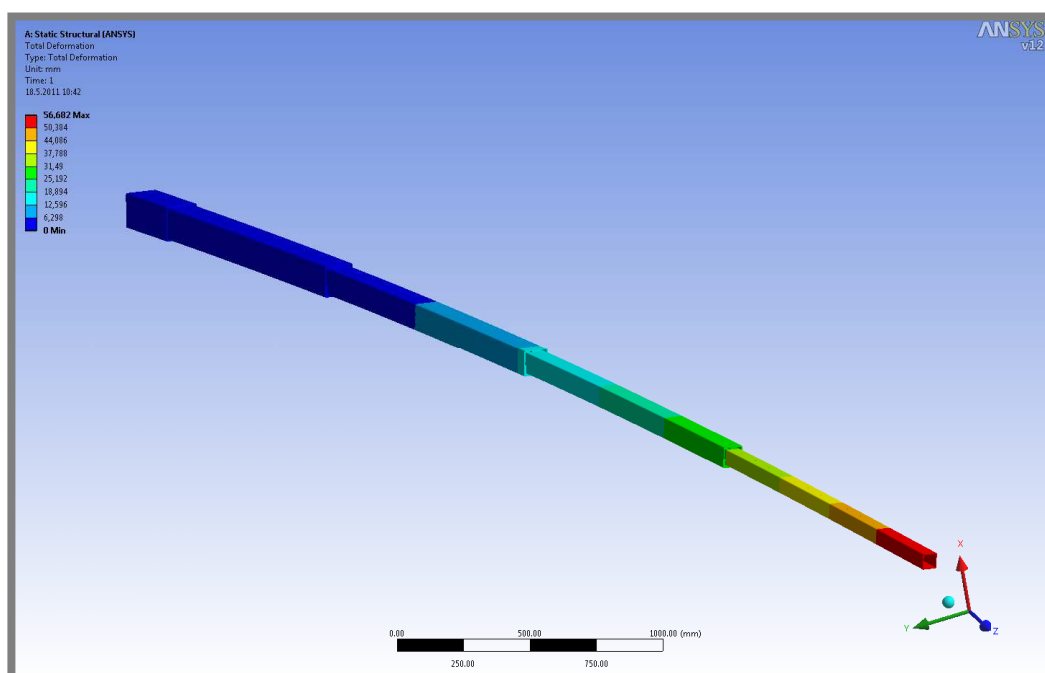
Vyhodnocení výsledků

Pro použití kamerového jeřábu je důležité, aby vzniklá napětí v rameni byla několiknásobně nižší, než je napětí dovolené Rm nebo napětí na mezi kluzu Re, protože je od ramena vyžadována velká tuhost. Obr.6-19 ukazuje rozložení napětí v rameni dle podmínky max τ , která je v porovnání s podmínkou HMH konzervativnější. Výsledky první analýzy ukazují maximální napětí 33 MPa v oblastech styku jednotlivých stupňů ramena. Napětí je několiknásobně nižší než napětí na mezi kluzu Re, proto by nemělo dojít k žádným plastickým deformacím a elastické deformace jsou v poměru k délce ramena minimální. Maximální deformace

(průhyb) jsou dle očekávání na konci ramena 50,3mm. Druhá analýza, doplněná o zpomalení simulující běžné použití zařízení, ukazuje nárůst napětí na 38MPa a deformací na 56,7mm. Nárůst napětí je s ohledem na pevnost konstrukce zanedbatelný. Průhyb se zvýšil o 6,4mm, což se rovná maximální výchylce při dokmitu ramena. Tato hodnota je vzhledem k délce ramena přijatelná. Na základě těchto výsledků můžeme konstatovat, že konstrukce ramena je pro kamerový jeřáb vhodná, jak z pevnostního, tak i funkčního hlediska. V porovnání s analytickými výpočty se výsledky MKP liší u napětí o cca 50% a u deformací o 30%. Tento rozdíl je způsoben zavedením prutových předpokladů u analytického řešení, které zanedbávají vruby a kontakty mezi jednotlivými částmi ramena.



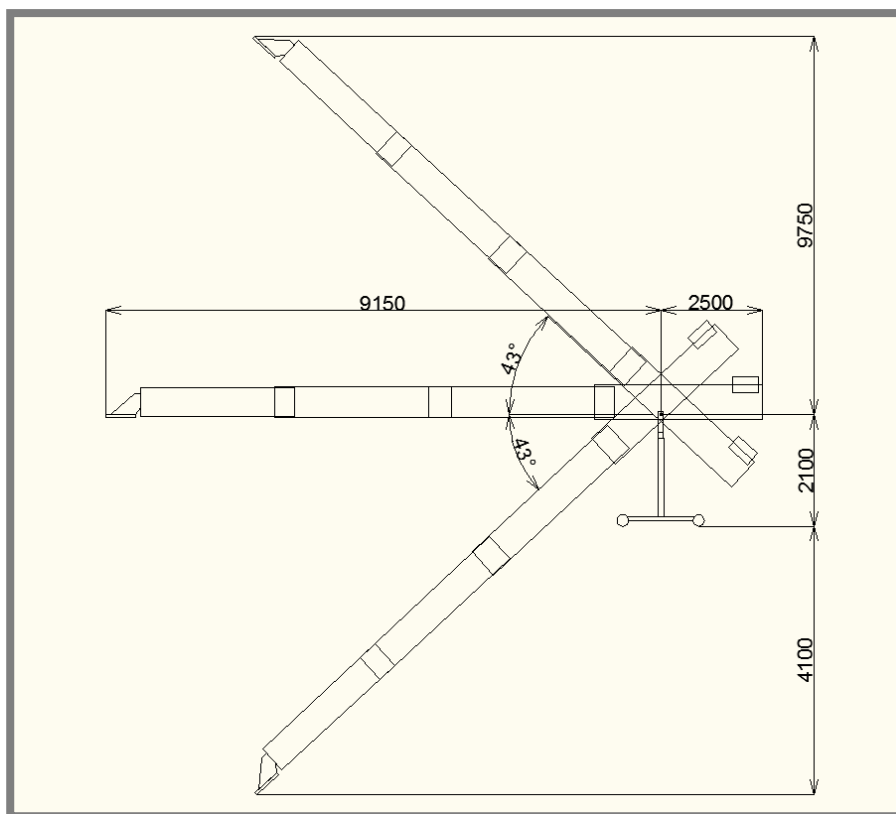
Obr. 6-19 Rozložení redukovaného napětí a detail nejvíce namáhané oblasti



Obr. 6-20 Rozložení celkových deformací ramena

6.2 Varianta C

Druhá návrhová varianta je zaměřená především na velkou tuhost konstrukce a přesnost pohybu. Jeřáb je navržen s odlišnými základními parametry, kterými jsou vyložení ramena 9m a velikost zatížení na konci ramena až 35kg. Přínosem tohoto řešení je, vedle snadné regulace délky ramena a snazší přepravy, možnost pořízení dynamického záběru vysunutím ramena při natáčení. Dále jsou navrženy inovativní prvky, jakými jsou například automatické vyvažování ramena či vlastní systém výsuvu ramena. Při návrhu je opět postupováno od stěžejního ramena až po mobilní základnu.



Obr. 6-21 Znárodnění kamerového jeřábu s vyznačením krajních poloh společně s hlavními rozměry

6.2.1

6.2.1. Rameno

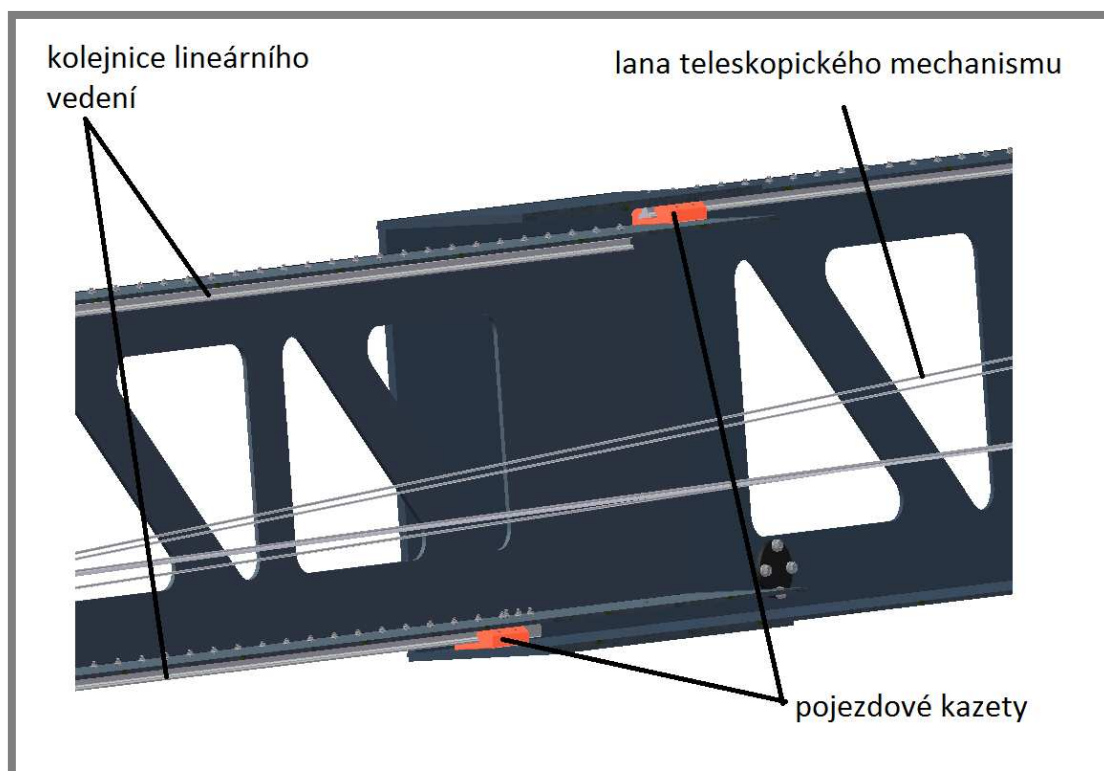
Rameno je tvořeno čtyřmi stupni z hliníkové slitiny. Rozměry všech čtyř stupňů jsou upraveny tak, aby bylo možné jednotlivé stupně zasunout do sebe a aby při maximálním vysunutí byla vzdálenost kamery od osy otáčení 9m. Dále je zohledněno přenášené zatížení a použití normalizovaných profilů, což celou konstrukci zlevní a zjednoduší. Bohužel potřebné profily nebyly v katalozích hlavních výrobců nalezeny, a proto jsou vyrobeny z plechu tloušťky 8mm. Konstrukce je navržena tak, aby se jednotlivé stupně teleskopicky zasouvaly, což sníží hmotnost ramena i protizávaží. Zároveň však musí být mezi stupni zachován dostatečný prostor pro vedení ovládacích lan.

Části ramena

První část ramena je nejmasivnější, protože je vystavena největšímu namáhání. Je vyrobena jako svařenec z plechu o tloušťce 8mm. Na konci ramena je s ohledem na předpokládané vyšší koncentrace napětí profil zesílen navařením hliníkového plechu stejné tloušťky 8mm. První stupeň má obdélníkový průřez o rozměrech 594x468mm, který je orientován na výšku. Z důvodu snížení hmotnosti i úspory materiálu je použit plech z hliníkové slitiny a boky profilu jsou odlehčeny otvory trojúhelníkového tvaru. Velikost i tvar otvorů je zvolen s ohledem na zachování dostatečné pevnosti a minimalizaci koncentrátů napětí. Na vrchní části horního plechu jsou připevněny kolejnice kuličkového vedení pro pojezd protizávaží s roztečí 400mm a délkou 2 170mm. Kolejnice jsou připevněny šrouby M5 s roztečí doporučenou výrobcem 60mm. Mezi kolejnicemi je umístěna lanová kladka pohybového mechanismu závaží, který je nainstalován na konci ramena. Pod ním je téměř v polovině výšky profilu vyvrtán otvor průměru 50mm pro uložení hřídele výsuvného mechanismu. Ve vzdálenosti 2 500mm od koncové hrany je první část ramena zesílena ocelovým plechem, který zvyšuje pevnost v oblasti uložení. Ve středu tohoto plechu je vyvrtán otvor o průměru 50mm sloužící k uložení čepu horizontální osy. Z vnitřní strany horního plechu jsou umístěny další kolejnice, které umožňují pojezd a vymezení vůlí mezi prvním a druhým stupněm ramena. Vymezení těchto vůlí je velmi důležité, protože i malá vůle v řádu milimetrů znamená na 9m rameni výchylku kamery o řád vyšší. Pojezdovou soustavu doplňují pojezdové kazety umístěné na vnitřní straně spodního plechu.



Obr. 6-22 Teleskopické rameno s označením jeho částí

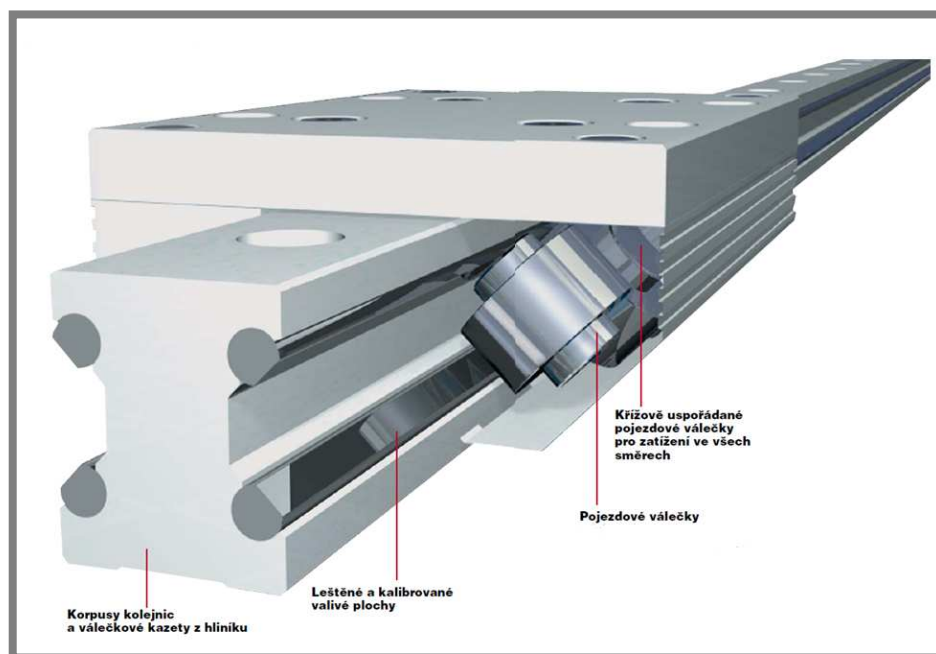


Obr. 6-23 Řez ramenem s označením jeho částí

Zbylé tři stupně jsou řešeny téměř stejným způsobem. Rozdíly spočívají pouze v úpravě rozměrů obdélníkového profilu. Délka vnějších hran navazujících stupňů jsou tedy 516x388, 440x312, 366x236mm. Délka první části je 4 000mm, zbylé tři mají shodnou délku 3 000mm. Jednotlivé stupně se překrývají o 500mm, aby byla dodržena tuhost konstrukce a napětí vzniklé ve spojích bylo rozloženo na dostatečně velkou plochu. Rameno je vyrobeno z lehké slitiny hliníku AlMgSi0,5, aby byly minimalizovány setrvačné síly při natáčení, kvůli snadné manipulaci a v neposlední řadě úspoře hmotnosti protizávaží. Přesto je hmotnost ramena necelých 420kg.

6.2.2 Lineární vedení

Hliníková válečková vedení usnadňují stavbu lehce jdoucích a nosných zařízení. Díky použití lehkých hliníkových korpusů se redukuje pohybující se hmoty, zvyšují se pojezdové rychlosti a šetří se hnací energie [17]. Vedení se skládá z hliníkových pojezdových kolejnic, ve kterých jsou vsazeny pojezdové tyče z vysoce legované pružinové oceli. Pro připevnění jsou v kolejnicích vyvrtány otvory se zahloubením pro šroub s válcovou hlavou. Rozteč a průměr otvorů jsou závislé na zvolené rozměrové kategorii. Po pojezdových tyčích se odvalují válečky z oceli pro valivá ložiska. Tyto valivé elementy jsou součástí takzvané pojezdové kazety, která doplňuje celý systém lineárního vedení. S ohledem na přenášené zatížení jsou vybrány z katalogu výrobce Hoerbiger dvojité kolejnice GDL-FD a kazety válečkových opěr RK-FD konstrukční velikosti 25 s nosností 11 300N.



Obr. 6-24 Lineární vedení Hoerbiger - Origa

6.2.3 Držák kamerové hlavy

6.2.3

Ke konci posledního teleskopického stupně ramena je připevněn držák kamerové hlavy. Držák se skládá ze třech částí. První část je vyrobena z hliníkového plechu tloušťky 8mm a je připevněna několika šrouby M5. Dále navazuje část ohnutá do tvaru písmene U připevněna šesti šrouby M10. Sestavu uzavírá mezikruhová část s otvorem průměru 63mm, který se pro připevnění kamerové hlavy běžně používá. Tento držák není vybaven pantografem jako v předchozí variantě, protože zachování požadovaného pohledu zde supluje trojosá kamerová hlava se snímačem natočení ramena, díky němuž je schopna koordinovat svůj pohyb v závislosti na úhlu natočení ramena kolem horizontální osy.

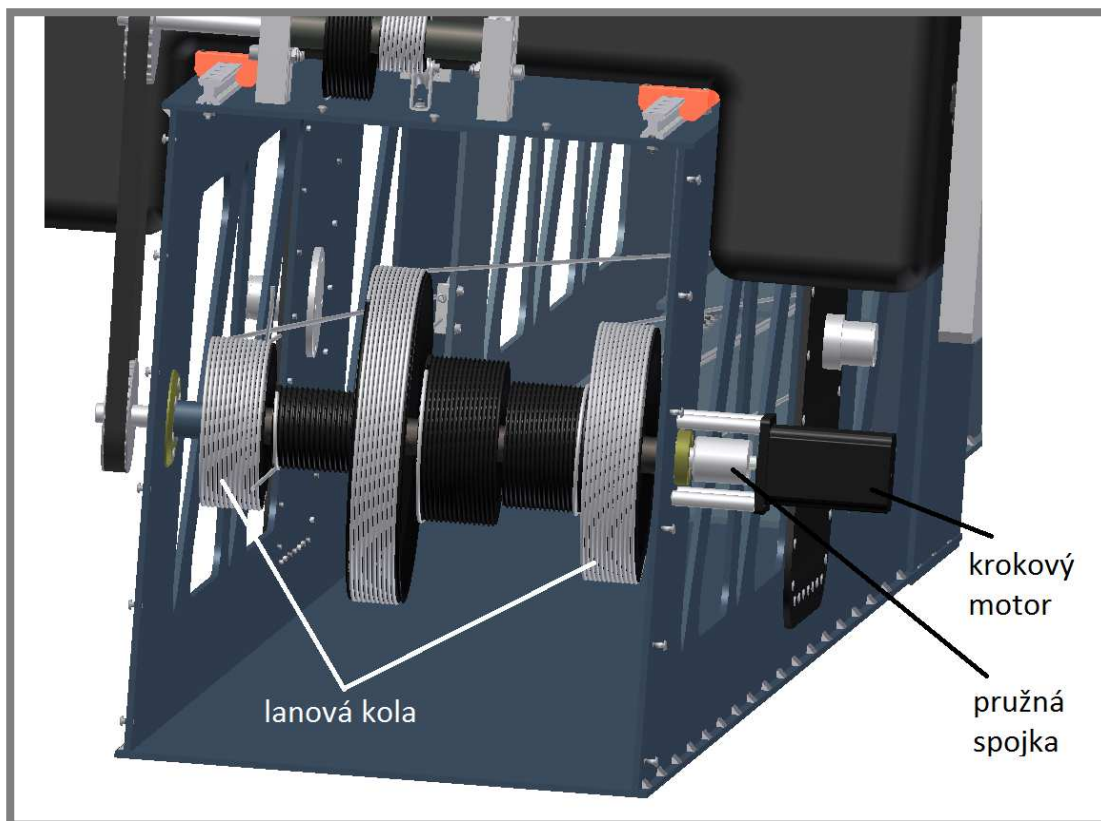


Obr. 6-25 Držák kamerové hlavy

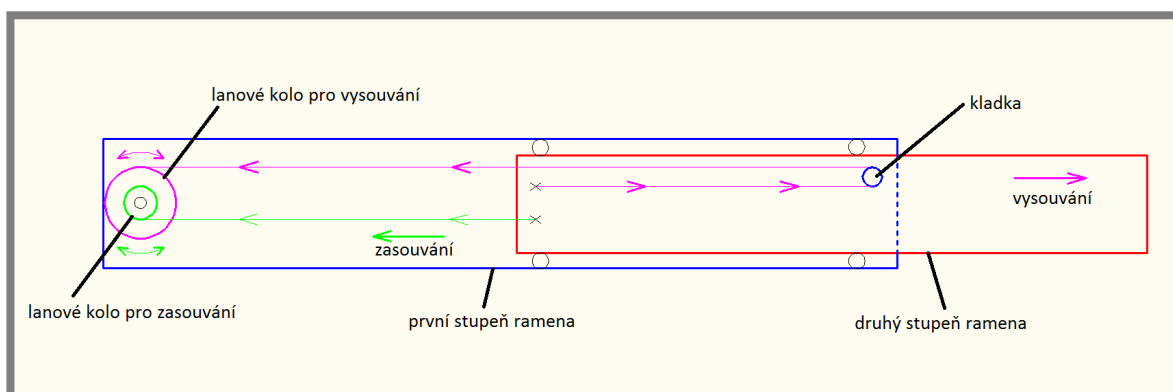
6.2.4 Teleskopický pohyb ramena

Systém vysouvání ramena musí splňovat několik hlavních kritérií. Prvním z nich je plynulý pohyb při vysouvání i zasouvání a možnost regulace rychlosti tohoto pohybu. S ohledem na, co možná největší tuhost je nutné, aby se všechny stupně ramena vysouvaly současně. Dalším důležitým kritériem je jednoduchost celého systému, která bude přispívat k menší poruchovosti, snadné údržbě a nízkým výrobním nákladům.

Na základě těchto požadavků je navrženo řešení, které zahrnuje pouze jeden krokový elektromotor. Motor je spojen pomocí pružné spojky s hřídelí. Hřídel s válcovými konci průměru 20mm je uložena v kuličkových ložiscích, která jsou zasazena do ocelových pouzder přišroubovaných do těla ramena. Hřídel je v prostoru mezi ložisky opatřena drážkováním přenášejícím otáčivý pohyb na lanová kola různých průměrů, které jsou mezi sebou rozepryeny ocelovými trubičkami. Kola mají po obvodu spirálovou drážku, do které se navíjí lanko a nedochází tak, k vršení lanka v jednom místě a tudíž ani ke změně obvodové rychlosti, což by mělo za následek i nekonstantní rychlost během vysouvání či zasouvání. Průměry a šířky lanových kol jsou zvoleny s ohledem na potřebnou obvodovou rychlost a délku lana. Vysouvání všech segmentů ramena je realizováno obdobně. Ke každému z nich vede samostatné lanko o průměru 4mm, které je vedeno přes kladku upevněnou vždy na předchozím stupni ramena. Tím vzniká přímočarý pohyb s požadovanou rychlostí vysouvání. Podobně je řešeno i zasouvání ramena. Zde však dostačuje lanko přibližně poloviční délky, protože požadovaný pohyb ramena je sousledný se směrem pohybu lanka a nemusí být tedy použita kladka, přes kterou by se směr pohybu lanka měnil viz. Obr.6-27.



Obr. 6-26 Systém vysouvání ramena



Obr. 6-27 Kinematické schéma vzájemného pohybu prvního a druhého stupně

Výpočty základních rozměrů

Výpočet délek lan pro jednotlivé stupně ramena

- pro každý výsuvný stupeň jsou potřebná dvě lana
- první je řešen stupeň č.2, protože první stupeň není výsuvný

$$l_{2z} = s_1 + x_2 = 4 + 0,5 = 4,5 \text{ m}$$

$$l_{2v} = s_1 + (s_2 - x_2) = 4 + (3 - 0,5) = 6,5 \text{ m}$$

kde:

- l_{2z} m je délka lana potřebná k zasunutí stupně č.2
- s_1 m - délka prvního stupně
- x_2 m - vzdálenost ukotvení lana od okraje stupně č.2
- l_{2v} m - délka lana potřebná k vysunutí stupně č.2
- s_2 m - délka druhého stupně
- obdobně dopočítáme pro navazující stupně č.3 a č.4

Tab. 6-2 Dopčtené délky lan pro zbývající stupně

stupeň č.	2	3	4
l_z [m]	4,5	6,5	8,5
l_v [m]	6,5	9	11,5

kde:

- l_z m je délka lana potřebná k zasunutí stupně
- l_v m - délka lana potřebná k vysunutí stupně

Výpočet průměru a šířky lanových kol

stupeň č.2

- je známa požadovaná rychlost teleskopického pohybu ramena $v = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- jelikož je při vysouvání dráha vykonaná koncovým bodem lana dvojnásobná, musí být jeho rychlost a tudíž i průměr lanového kola dvojnásobný
- volíme průměr lanového kola $d_{2v} = 150 \text{ mm} \rightarrow d_{2z} = 75 \text{ mm}$

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot v_2 \cdot 1000}{d_{2v}} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 1000}{150} = 13,3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

kde:

ω_1	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	je úhlová rychlost
v_2	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	- rychlost výsuvu stupně č.2
d_{2v}	mm	- průměr lanového kola pro výsuv stupně č.2
d_{2z}	mm	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.2

$$n_1 = \frac{60 \cdot \omega}{2 \cdot \pi} = \frac{60 \cdot 13,3}{2 \cdot \pi} = 127 \text{ min}^{-1}$$

kde:

n_1	min^{-1}	jsou otáčky hřídele
ω_1	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	- úhlová rychlost

$$a_{2v} = \frac{l_{2v}}{\pi \cdot d_{2v}} \cdot t = \frac{6500}{\pi \cdot 150} \cdot 4 = 55 \text{ mm}$$

$$a_{2z} = \frac{l_{2z}}{\pi \cdot d_{2z}} \cdot t = \frac{4500}{\pi \cdot 75} \cdot 4 = 76 \text{ mm}$$

kde:

a_{2v}	mm	je šířka lanového kola pro výsuv stupně č.2
l_{2v}	mm	- délka lana potřebná pro výsuv stupně č.2
d_{2v}	mm	- průměr lanového kola pro výsuv stupně č.2
t	mm	- průměr použitého lana
a_{2z}	mm	- šířka lanového kola pro zasouvání stupně č.2
l_{2z}	mm	- délka lana potřebná pro zasouvání stupně č.2
d_{2z}	mm	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.2

stupeň č.3

- je známa požadovaná rychlost teleskopického pohybu ramena $v = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- má-li být zachován současný teleskopický pohyb všech stupňů, musíme absolutní rychlost vzhledem k prvnímu stupni zvýšit o $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow v_3 = 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$d_{3v} = \frac{2 \cdot v_3 \cdot 1000}{\omega_1} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 1000}{13,3} = 225 \text{ mm}$$

- jelikož je při vysouvání dráha vykonaná koncovým bodem lana dvojnásobná, musí být jeho rychlost a tudíž i průměr lanového kola dvojnásobný

$$d_{3z} = \frac{d_{3v}}{2} = \frac{225}{2} = 112,5 \text{ mm}$$

kde:

d_{3v}	mm	je průměr lanového kola pro výsuv stupně č.3
v_3	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	- rychlost výsuvu stupně č.3

ω_1	rad.s ⁻¹	- úhlová rychlost
d_{3z}	mm	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.3

$$a_{3v} = \frac{l_{3v}}{\pi \cdot d_{3v}} \cdot t = \frac{9000}{\pi \cdot 225} \cdot 4 = 50mm$$

$$a_{3z} = \frac{l_{3z}}{\pi \cdot d_{3z}} \cdot t = \frac{6500}{\pi \cdot 112,5} \cdot 4 = 72mm$$

kde:

a_{3v}	mm	je šířka lanového kola pro výsuv stupně č.3
l_{3v}	mm	- délka lana potřebná pro výsuv stupně č.3
d_{3v}	mm	- průměr lanového kola pro výsuv stupně č.3
t	mm	- průměr použitého lana
a_{3z}	mm	- šířka lanového kola pro zasouvání stupně č.3
l_{3z}	mm	- délka lana potřebná pro zasouvání stupně č.3
d_{3z}	mm	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.3

stupeň č.4

- je známa požadovaná rychlost teleskopického pohybu ramena $v = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- má-li být zachován současný teleskopický pohyb všech stupňů, musíme absolutní rychlost vzhledem k prvnímu stupni zvýšit o $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow v_4 = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$d_{4v} = \frac{2 \cdot v_4 \cdot 1000}{\omega_1} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1000}{13,3} = 300mm$$

- jelikož je při vysouvání dráha vykonaná koncovým bodem lana dvojnásobná, musí být jeho rychlost a tudíž i průměr lanového kola dvojnásobný

$$d_{4z} = \frac{d_{4v}}{2} = \frac{300}{2} = 150mm$$

kde:

d_{4v}	mm	je průměr lanového kola pro výsuv stupně č.4
v_4	m.s ⁻¹	- rychlost výsuvu stupně č.4
ω_1	rad.s ⁻¹	- úhlová rychlost
d_{4z}	mm	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.4

$$a_{4v} = \frac{l_{4v}}{\pi \cdot d_{4v}} \cdot t = \frac{11500}{\pi \cdot 300} \cdot 4 = 49mm$$

$$a_{4z} = \frac{l_{4z}}{\pi \cdot d_{4z}} \cdot t = \frac{8500}{\pi \cdot 150} \cdot 4 = 72mm$$

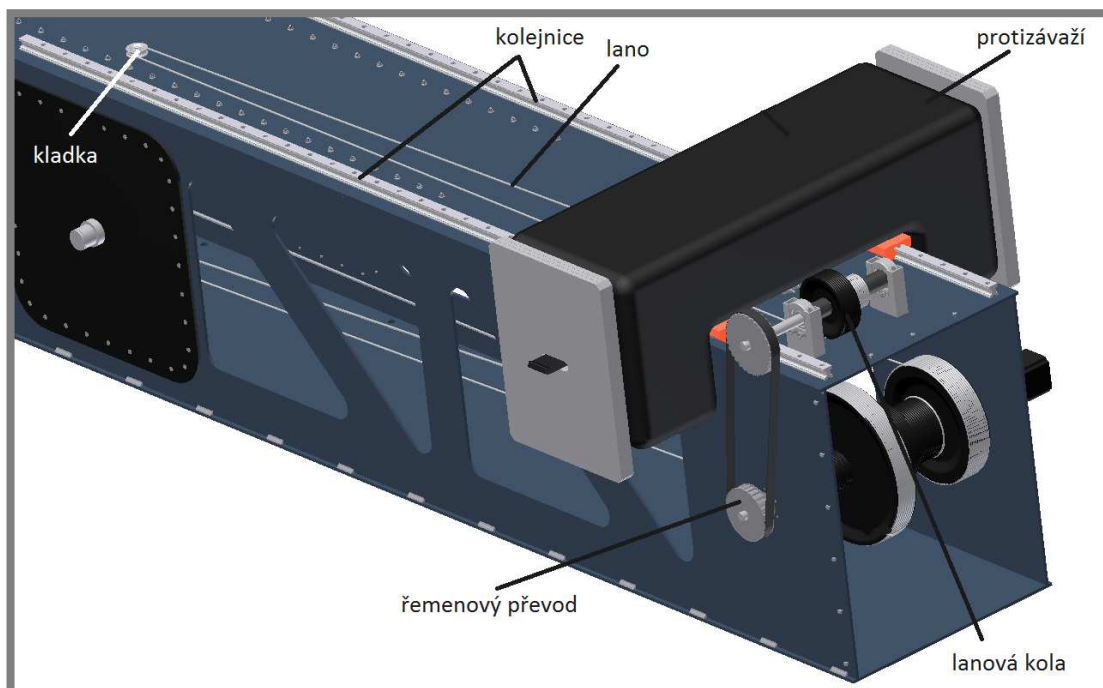
kde:

a_{4v}	mm	je šířka lanového kola pro výsuv stupně č.4
l_{4v}	mm	- délka lana potřebná pro výsuv stupně č.4
d_{4v}	mm	- průměr lanového kola pro výsuv stupně č.4
t	mm	- průměr použitého lana
a_{4z}	mm	- šířka lanového kola pro zasouvání stupně č.4
l_{4z}	mm	- délka lana potřebná pro zasouvání stupně č.4
d_{4z}	mm	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.4

6.2.5

6.2.5 Systém automatického vyvažování

Systém automatického vyvažování se skládá z litinového protizávaží, jehož hmotnost byla stanovena z momentové podmínky v předchozí kapitole na cca 525kg. Aby byl pohyb takto těžkého elementu co nejsnadnější, jsou na spodní straně závaží umístěny pojezdové kazety, které pojíždí po kolejnicích lineárního vedení umístěných na horní straně prvního stupně ramena. Tyto kolejnice mají rozteč 400mm, jsou 2 100mm dlouhé a na koncích jsou doplněny o dorazy, které v případě poruchy zamezí vypadnutí závaží z vedení. Pohyb závaží je stejně jako v případě teleskopického pohybu ramena realizován mechanicky pomocí soustavy lan, lanových kol a kladek. Lanová kola jsou nasazena na hřídeli průměru 20mm, uložené v ložiskových domcích, které jsou osazeny kuličkovými ložisky. Aby byla zaručena synchronizace mezi teleskopickým pohybem a vyvažováním, je rotační pohyb přenášén přímo z hřídele zajišťující vysouvání a zasouvání ramena. Tento sekundární převod je realizován ozubeným řemenem, který je zvolen z důvodu nízké hlučnosti, bezúdržbovosti a dostatečné přesnosti pohybu.

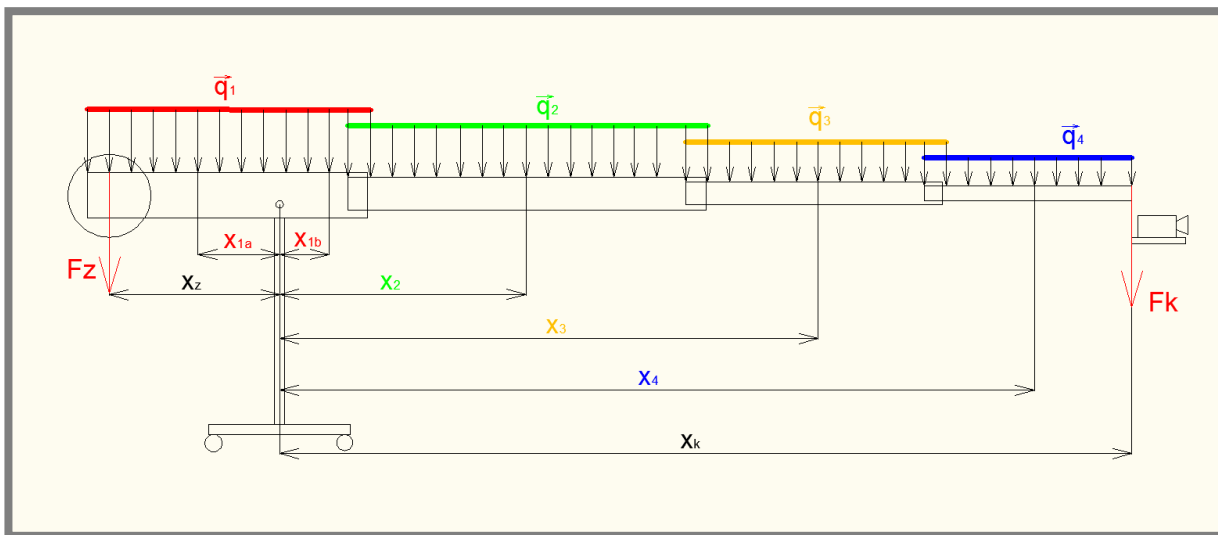


Obr. 6-28 Systém automatického vyvažování

Výpočty základních rozměrů

Výpočet průměru a šířky lanových kol

Při výpočtu průměru lanových kol a tedy i rychlosti posouvání závaží v závislosti na vysunutí ramena je vycházeno z momentové rovnováhy k otočnému bodu.



Obr. 6-29 Uvolnění ramena s vyznačením spojitého zatížení od vlastní tíhy ramena a sil od kamerové hlavy a protizávaží

Momentová rovnováha k otočnému bodu

- tíhové působení kamery a kamerové hlavy není při tomto výpočtu uvažováno, protože jejich hmotnost se bude často měnit, a proto bude dodatečně vyvažována přídatným závažím.

- použijeme vztah pro výpočet hmotnosti protizávaží z minulé kapitoly a vyjmemme z něj tíhové působení kamery a kamerové hlavy

$$F_{z2} = \frac{2 \cdot q_1 (x_{1b}^2 - x_{1a}^2) + q_2 \cdot l_m \cdot x_2 + q_3 \cdot l_m \cdot x_3 + q_4 \cdot l_m \cdot x_4 + F_k \cdot x_k}{x_z}$$

$$= \frac{2 \cdot 331,83(0,75^2 - 1,2^2) + 283,52 \cdot 3 \cdot 2,5 + 235,20 \cdot 3 \cdot 5 + 187,53 \cdot 3 \cdot 7,5 + 343,35 \cdot 9}{2,4}$$

$$= 3\,871\,N \Rightarrow m_{z2} = 394,6\,kg$$

kde:

F_{z2}	N	je tíha protizávaží pro vyvážení ramena
m_z	kg	- hmotnost protizávaží pro vyvážení ramena
q	N.m ⁻¹	- liniové zatížení
$x_1, x_2, x_3, x_4, x_z, x_k$	m	- rozměry ramena viz. schéma
F_k	N	- tíha kamerové hlavy a kamery
g	m.s ⁻²	- gravitační zrychlení

- dále uvedeme rovnici do výchozího tvaru pro potřeby dalších výpočtů

$$F_z \cdot x_z + 2 \cdot q_1 \cdot x_{1a}^2 = 2 \cdot q_1 \cdot x_{1b}^2 + q_2 \cdot l_m \cdot x_2 + q_3 \cdot l_m \cdot x_3 + q_4 \cdot l_m \cdot x_4$$

- proměnné $F_z, q_1, x_{1a}, x_{1b}, q_2, l_m, q_3, q_4$ jsou **konstanty**

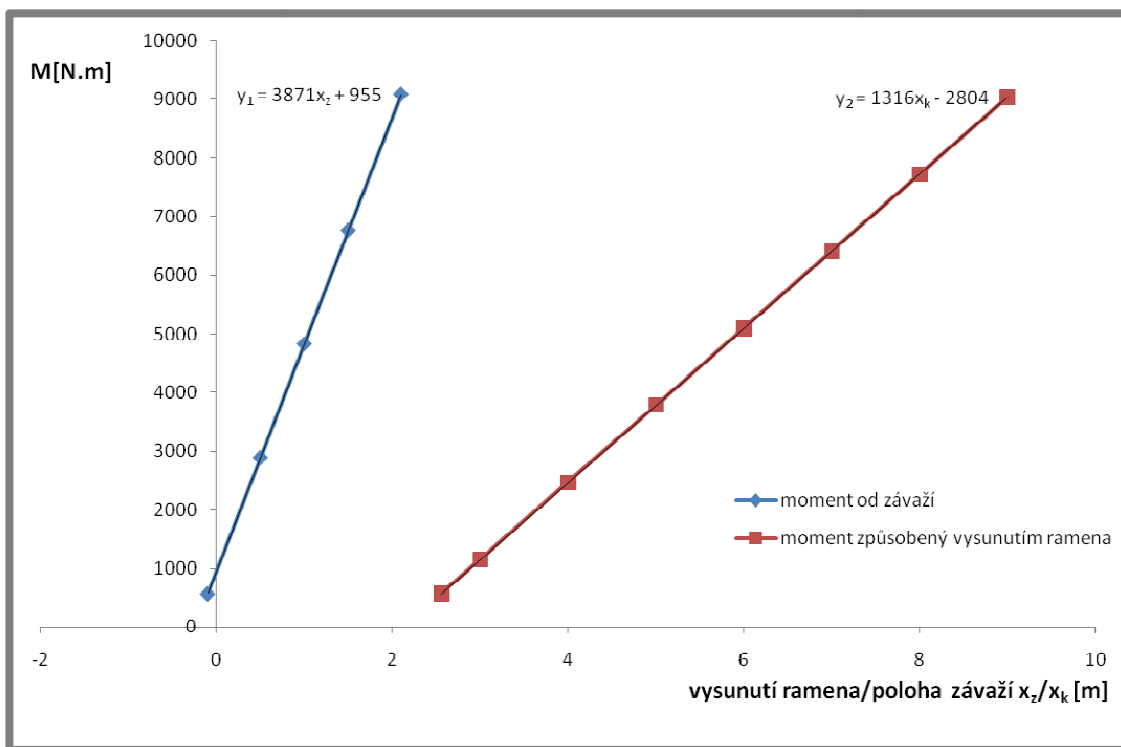
- $F_z \cdot x_z + 2 \cdot q_1 \cdot x_{1a}^2 = 2 \cdot q_1 \cdot x_{1b}^2 + q_2 \cdot l_m \cdot x_2 + q_3 \cdot l_m \cdot x_3 + q_4 \cdot l_m \cdot x_4$
proměnné x_2, x_3, x_4 jsou závislé pouze na délce vysunutí ramena x_k a můžeme je pomocí této proměnné zapsat

$$F_z \cdot x_z + 2 \cdot q_1 \cdot x_{1a}^2 = 2 \cdot q_1 \cdot x_{1b}^2 + q_2 \cdot l_m \cdot \left(\frac{x_k}{3} - \frac{l_m}{2}\right) + q_3 \cdot l_m \cdot \left(\frac{2 \cdot x_k}{3} - \frac{l_m}{2}\right) + q_4 \cdot l_m \cdot \left(x_k - \frac{l_m}{2}\right)$$

- z tohoto zápisu jsou již patrné lineární závislosti mezi vysunutím ramena, vzdáleností závaží a zatížením. Po několika nezbytných algebraických úpravách lze rovnici zapsat ve tvaru dvou rovnic přímek.

$$K_1 \cdot x_z + Q_1 = K_2 \cdot x_k + Q_2$$

- po dosazení všech konstant do předchozí rovnice, můžeme snadno odvodit diagram popisující závislost vysunutí x_k na vzdálenosti závaží od osy otáčení x_z .



Obr. 6-30 Diagram popisující závislost vysunutí ramena x_k na vzdálenosti závaží od osy otáčení

pozn.: Moment od závaží má opačné znaménko než moment způsobený vysunutím ramena. V diagramu jsou znaménka souhlasná z důvodu větší přehlednosti.

Výpočet rychlosti posuvu závaží

- vyjdeme ze skutečnosti, že čas, za který se rameno vysune na maximální délku (rozmezí 2,5 – 9m) musí být shodný s časem, za který závaží urazí pojezdovou vzdálenost -0,1 – 2,1m.

$$t_r = \frac{x_{kmax} - x_{kmin}}{v_r} = \frac{9 - 2,5}{1,5} = 4,33 \text{ s} = t_z$$

kde:

t_r	s	je čas, za který se rameno vysune na maximální délku
x_{kmax}	m	- maximální výsuv ramena
x_{kmin}	m	- minimální výsuv ramena
v_r	$m.s^{-1}$	- rychlost vysouvání koncového bodu ramena
t_z	s	- čas, za který rameno musí urazit pojezdovou vzdálenost

$$v_z = \frac{x_{zmax} - x_{zmin}}{t_z} = \frac{2,1 - (-0,1)}{4,33} = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$$

kde:

v_z	$m.s^{-1}$	je rychlost pohybu závaží
x_{zmax}	m	- maximální vyložení závaží
x_{zmin}	m	- minimální vyložení závaží
t_z	s	- čas, za který rameno musí urazit pojezdovou vzdálenost
		- délky lan jsou odvozeny od délky pojezdu závaží

$$l_{zd} = 4,6m$$

$$l_{zz} = 2,3m$$

kde:

l_{zd}	m	je délka lana pro pohyb závaží směrem k otočnému bodu
l_{zz}	m	- délka lana pro zpětný pohyb závaží

Výpočet průměru a šířky lanových kol

- je známa požadovaná rychlost pohybu závaží ramena $v_z = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$
- jelikož je při vysouvání dráha vykonaná koncovým bodem lana dvojnásobná, musí být jeho rychlost a tudíž i průměr lanového kola dvojnásobný
- volíme průměr lanového kola $d_{zd} = 120mm \rightarrow d_{zz} = 60mm$

$$\omega_2 = \frac{2 \cdot v_{zd} \cdot 1000}{d_{zd}} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 1000}{120} = 16,6 \text{ rad.s}^{-1}$$

kde:

ω_2	$rad.s^{-1}$	je úhlová rychlost
v_{zd}	$m.s^{-1}$	- rychlost lana pro pohyb závaží směrem k otočnému bodu
d_{zd}	mm	- průměr lanového kola pro pohyb závaží směrem k otočnému bodu
d_{zz}	mm	- průměr lanového kola pro zpětný pohyb závaží

$$n_2 = \frac{60 \cdot \omega}{2 \cdot \pi} = \frac{60 \cdot 16,6}{2 \cdot \pi} = 158,5 \text{ min}^{-1}$$

kde:

n_2	min^{-1}	jsou otáčky hřídele
ω	$rad.s^{-1}$	- úhlová rychlost

$$a_{zd} = \frac{l_{zd}}{\pi \cdot d_{zd}} \cdot t = \frac{4 \cdot 600}{\pi \cdot 120} \cdot 4 = 48,8 \text{ mm}$$

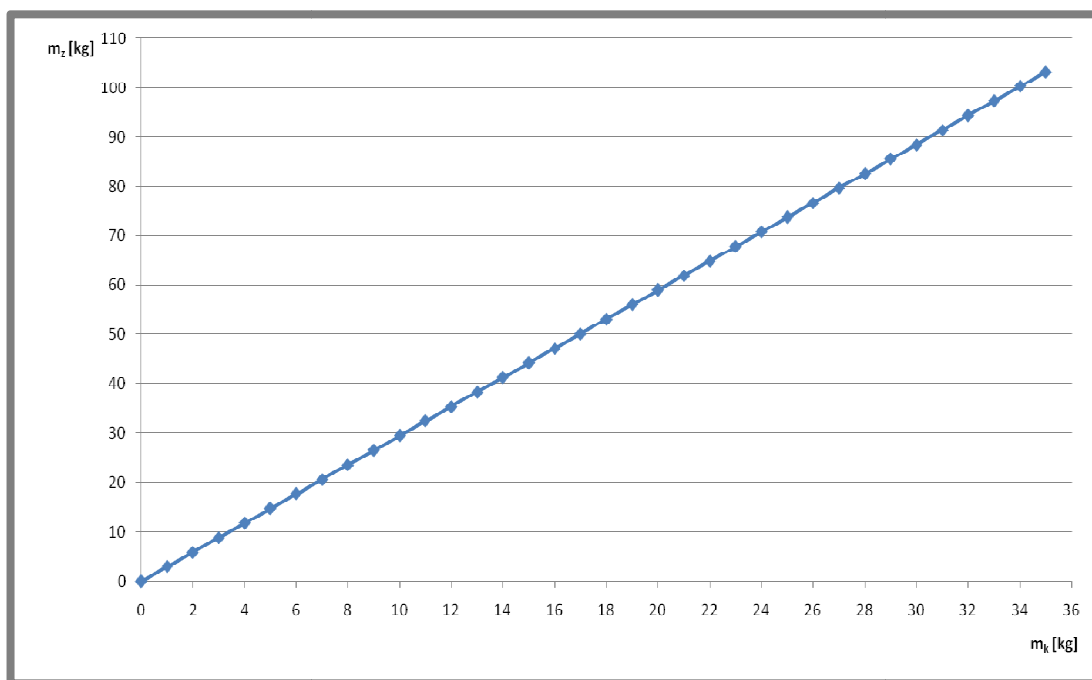
$$a_{zz} = \frac{l_{zz}}{\pi \cdot d_{zz}} \cdot t = \frac{2\,300}{\pi \cdot 60} \cdot 4 = 48,8 \text{ mm}$$

kde:

a_{zd}	mm	je šířka lanového kola pro pohyb závaží směrem k otočnému bodu
l_{zd}	mm	- délka lana pro pohyb závaží směrem k otočnému bodu
d_{zd}	mm	- průměr lanového kola pro pohyb závaží směrem k otočnému bodu
t	mm	- průměr použitého lana
a_{zz}	mm	- šířka lanového kola pro zpětný pohyb závaží
l_{zz}	m	- délka lana pro zpětný pohyb závaží
d_{zz}	mm	- průměr lanového kola pro zpětný pohyb závaží

Dovyvážení ramena podle použité kamerové hlavy a kamery

Při natáčení se často mění použitá kamera či kamerová hlava, proto je protizávaží, které automaticky vyvažuje rameno, doplněno o přídavné závaží. Přídavné závaží má celkovou hmotnost 100kg a je rozděleno na 10 částí stejné hmotnosti. Správnou hodnotu protizávaží, lze snadno určit pomocí níže uvedeného grafu závislosti hmotnosti kamery m_k na hmotnosti protizávaží m_z .



Obr. 6-31 Graf závislosti hmotnosti kamery m_k na hmotnosti protizávaží m_z

6.2.6 Hnací soustrojí

Hnací soustrojí výsuvu ramena a pohybu závaží má, z důvodu výhodné synchronizace a jednoduchosti konstrukce, společný krokový motor. Krokový motor byl zvolen pro jeho přesnost pohybu a dostatečnou plynulost chodu. Je spojen s hnanou hřídelí průměru 20mm pomocí pružné spojky, která kompenzuje případné nesouososti, tlumí hluk a vibrace. Na konci je hřídel opět pomocí pera spojena s řemenicí průměru 100mm. Tato řemenice společně s ozubeným řemenem a druhou řemenicí tvoří sekundární převod. Druhá řemenice průměru 125mm přenáší rotační pohyb na hřídel osazenou dvěma lanovými koly, která zajišťují pohyb protizávaží.

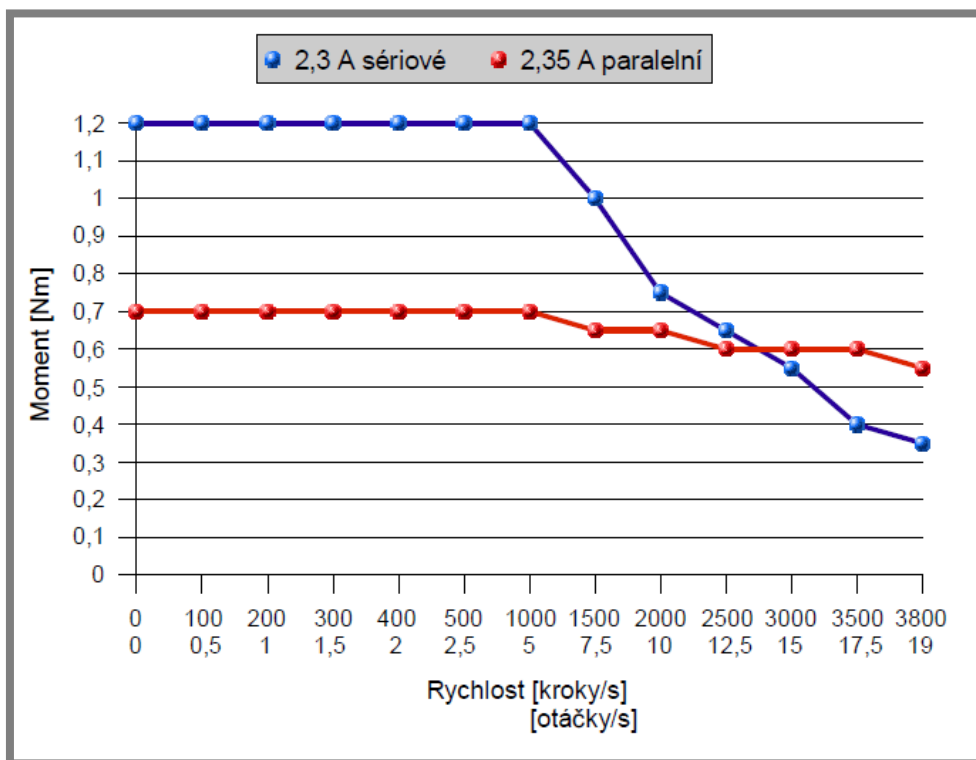
Návrh motoru

$$\begin{aligned}
M_k &= \sum_{i=1}^4 M_i = [(q_2 + q_3 + q_4) \cdot l_m + m_k \cdot g] \cdot \mu \cdot \frac{d_{2z}}{2} \\
&\quad + [(q_3 + q_4) \cdot l_m + m_k \cdot g] \cdot \mu \cdot \frac{d_{3z}}{2} + (q_4 \cdot l_m + m_k \cdot g) \cdot \mu \cdot \frac{d_{4z}}{2} \\
&\quad + m_z \cdot g \cdot \frac{d_{zz}}{2} \\
&= [(283,5 + 235,2 + 187,3) \cdot 3 + 35,9,81] \cdot 0,002 \cdot \frac{0,075}{2} + \dots \\
&= 0,1845 + 0,1811 + 0,1359 + 0,3 = 0,8 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow M_{ks} = 0,8 \cdot 1,5 \\
&= 1,2 \text{ N} \cdot \text{m}
\end{aligned}$$

kde:

M_k	N.m	je kroutící moment
q_2, q_3, q_4	N.m ⁻¹	- liniové zatížení od jednotlivých stupňů ramena
l_m	m	- délka stupně ramena
m_k	kg	- hmotnost kamery a kamerové hlavy
g	m.s ⁻²	- gravitační zrychlení
μ	-	- koeficient tření lineárního vedení
d_{2z}	m	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.2
d_{3z}	m	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.3
d_{4z}	m	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.4
m_z	kg	- hmotnost protizávaží
d_{zz}	m	- průměr lanového kola pro zpětný pohyb závaží
M_{ks}	N.m	- kroutící moment navýšený na doporučení výrobce o 50%

Na základě vypočteného kroutícího momentu M_{ks} , potřebných otáček n_1 a momentové charakteristiky je vybrán krokový motor od firmy Microcon se sériovým zapojením, který nese katalogové označení SM2321-1400 a je k hřídeli připojen pomocí spojky Huco typu Oldram s označením XY19. Sériové zapojení je vybráno s ohledem na vyšší dosahovaný konstantní kroutící moment. Kroutící moment viz. Obr.6-32 je dostatečný v celé oblasti použití krokového motoru 0 – 2,1 ot./s.



Obr. 6-32 Momentová charakteristika krokového motoru SM2321-1400

Návrh řemenového převodu

$$i_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{158,5}{127} = 1,25$$

kde:

i_{12} - je převodové číslo
 n_2 min^{-1} - otáčky hřídele pohánějící protizávaží
 n_1 min^{-1} - otáčky hřídele pohánějící výsuv ramena

Výpočet průměru řemenových kol

- volím průměr řemenového kola $d_{r1} = 100\text{mm}$

$$d_{r2} = d_{r1} \cdot i_{12} = 100 \cdot 1,25 = 125\text{ mm}$$

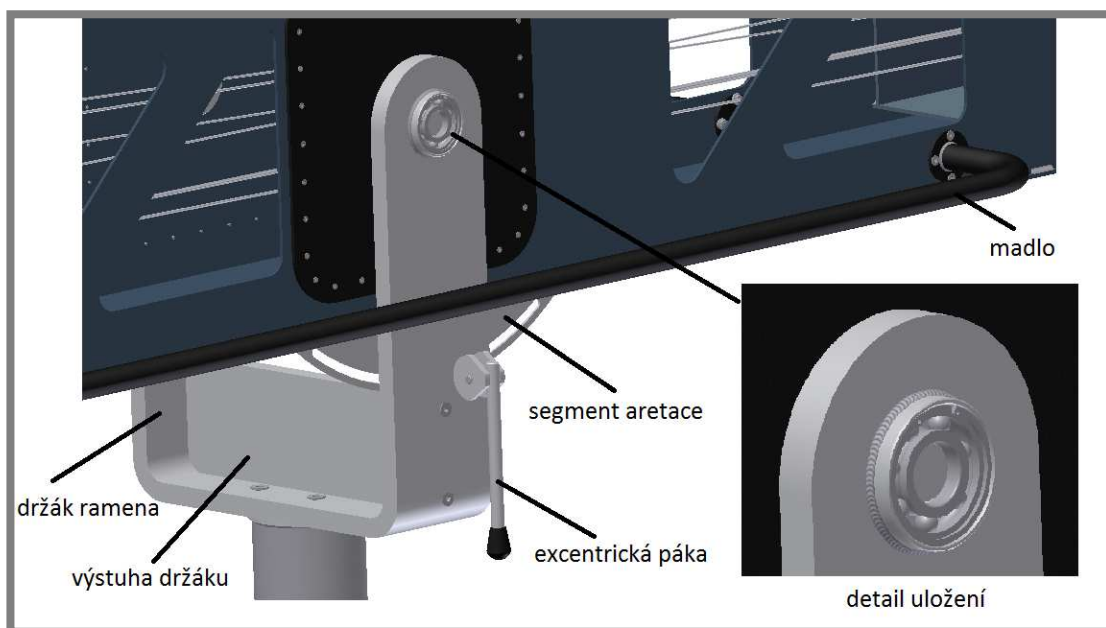
kde:

d_{r1} mm je průměr řemenového kola č.1
 d_{r2} mm - průměr řemenového kola č.2

6.2.7 Držák ramena s aretací

Dalším konstrukčním celkem je držák ramena. Jedná se o ocelovou plochou tyč z materiálu 11 523 a průřezu 200 x 30mm, která je ohnuta do tvaru písmena U a v dolní části ještě zpevněna výztuhou. Držák je navržen tak, aby umožňoval požadovaný rozsah pohybu kolem horizontální osy min. 80°. Zároveň musí splňovat velkou tuhost, které je dosaženo použitím dostatečně silné ploché tyče. Na obou

koncích držáku jsou vyvrtány otvory průměru 42mm s vyfrézovaným zahloubením průměru 98mm a hloubce 12mm viz. detail uložení Obr.6-33. Toto zahloubení slouží k vsazení trubek stejného průměru a tloušťkou stěny 4mm. V trubkách jsou vloženy kuličková ložiska, zajištěna vnitřním rozpěrným kroužkem. Tato ložiska umožňují snadný rotační pohyb kolem horizontální osy. Aretace je zde řešena za pomoci tření mezi držákem a segmentem aretace. Jelikož je jeřáb vybaven automatickým vyvažovacím systémem, stačí pro aretaci aktuální polohy pouze lehké dotažení aretační páky. Z důvodu snadné a rychlé aretace je zvolena excentrická páka.

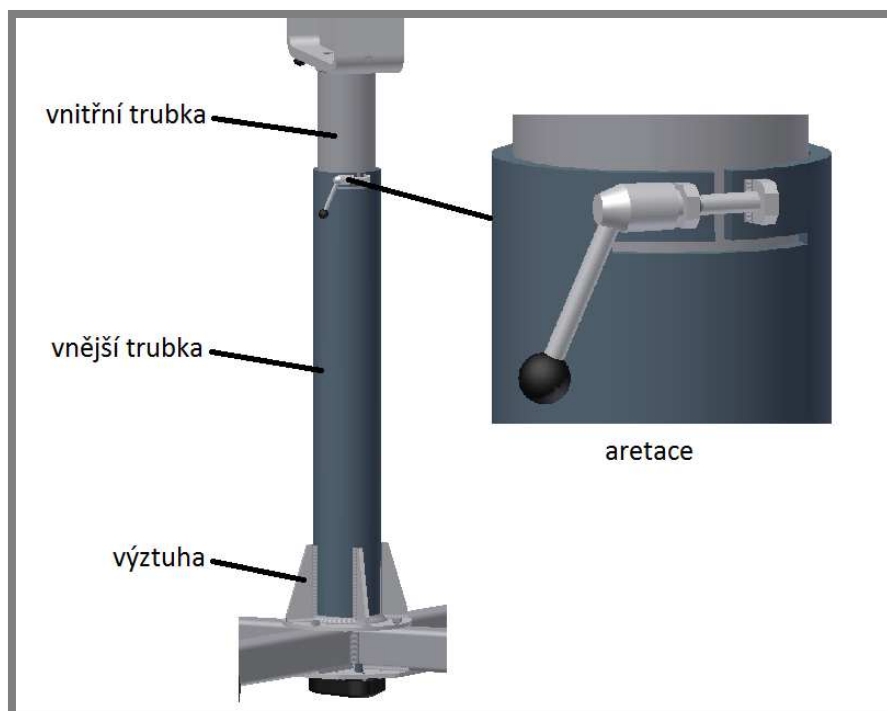


Obr. 6-33 Držák ramena s aretací

6.2.8 Otočný teleskopický sloup

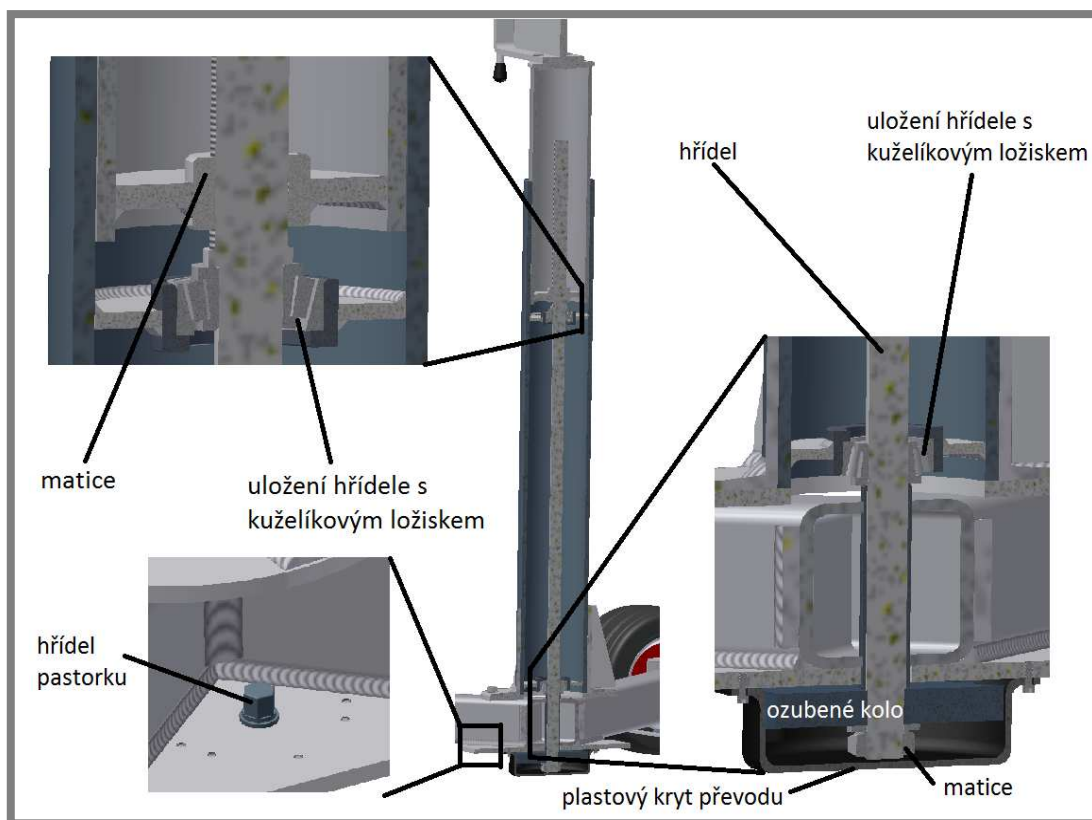
Hlavními částmi otočného sloupu jsou trubky kruhového průřezu. Jejich průměry a tloušťky stěn jsou zvoleny nejen s ohledem na dostatečnou tuhost konstrukce, ale i s ohledem na dosažení minimální vůle mezi vnější a vnitřní trubkou při volbě normalizovaného profilu. Jako optimální varianta je zvolena kombinace kruhových trubek 193,7x12mm a 168,3x10mm. Při takto zvolených trubkových profilech je vůle mezi nimi 1,4mm. Tato vůle je poměrně snadno vymezena pomocí vlepěného plastového kroužku tloušťky 2mm do vybrání na vnitřní straně vnější trubky. Otočný pohyb mezi trubkami je realizován pomocí matice vevařené do spodního konce vnitřní trubky, která se pohybuje po šroubové části hřídele s trapézovým závitem TR 40x3mm viz. Obr.6-35. Aretace rotačního pohybu kolem vertikální osy je realizována svěrným spojem, který je vytvořen příčným i podélným naříznutím vnější trubky a přivařením dvou ocelových elementů spojených šroubem a maticí s pákou viz. detail Obr.6-34. Dotažením této páky vznikne dostatečná třecí síla, která zamezí pohybu kolem vertikální osy. Na spodním konci vnější trubky je přivařena kruhová základna tloušťky 12mm se čtyřmi otvory pro šrouby M16, kterými je sloup připevněn k podvozku.

6.2.8



Obr. 6-34 Otočný sloup

Základní výška sloupu od země je 1,5m. Tuto výšku je možné plynule měnit, díky teleskopickému výsuvu až na hodnotu 2,1m. Výšková variabilita sloupu přináší nejen možnost přizpůsobení pro pohodlnou obsluhu, ale je výhodná i s ohledem na zvětšení úhlu pohybu ramena kolem horizontální osy. Výsuv sloupu je ovládán mechanicky nasazením přiložené páky nebo běžným ráčnovým klíčem velikosti 19mm na hřídel pastorku, umístěnou u paty sloupu. Na hřídeli je umístěn pastorek s 19 zuby, který je v záběru s větším čelním ozubeným kolem o 57 zubech a tvoří tak spolu jednoduchý převod. Větší kolo je nasazeno na hlavní hřídeli o průměru 35mm, která je uložena pomocí dvou kuželíkových ložisek vevařených do vnitřku vnější trubky sloupu.

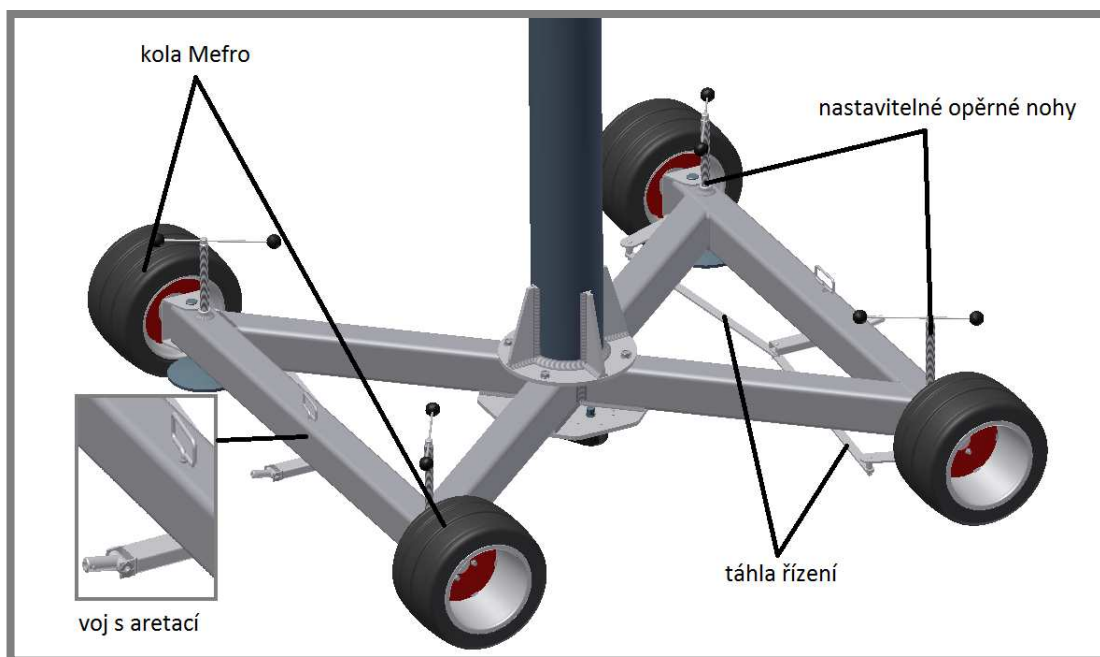


Obr. 6-35 Řez otočným sloupem s detaily a popisem

6.2.9 Podvozek

Podvozek musí splňovat několik základních podmínek, kterými jsou dostatečná tuhost, stabilita a snadná mobilita. Základem podvozku je svařovaná konstrukce obdélníkového půdorysu o vnějších rozměrech 1 600x1 500mm. Kratší strany obdélníku jsou stejně jako jeho úhlopříčky tvořeny obdélníkovou trubkou s rozměry 120x100x8mm, která je orientovaná na výšku. V místě, kde se osy trubek protínají, je vyvrtán otvor průměru 40mm pro průchod hřídele od převodovky, která umožňuje teleskopický pohyb sloupu. Převodovka je umístěna společně s jejím plastovým krytem na čtvercové desce tloušťky 12mm přivařené ke křížícím se nosníkům. Dále jsou na každém z protínajících se nosníků zhotoveny dva otvory M16 pro připevnění sloupu.

Na koncích nosníků délky 1 500mm jsou vyvrtány otvory průměru 30mm sloužící pro připevnění otočného držáku kola pomocí čepu. Jsou vybrána od kola od firmy Mefro, protože jsou dostatečně velká pro překonávání terénních nerovností a zároveň široká, aby se nebořila do nezpevněného terénu. Jejich hlavními parametry jsou průměr kola 360mm, šířka 205mm a únosnost 2350kg. Všechna čtyři kola jsou říditelná pomocí táhel a čepů, které tvoří jednoduchý systém řízení. Každou z náprav lze buď aretovat pro přímou jízdu nebo řídit pomocí přiložené trubky tvaru písmena T. Chceme-li jeřáb připravit k natáčení, je nutné ho nejprve stabilizovat. K tomuto účelu slouží opěrné nohy, které základnu vyrovnají do vodorovné polohy a eliminují výkyvy způsobené pružností pneumatik.



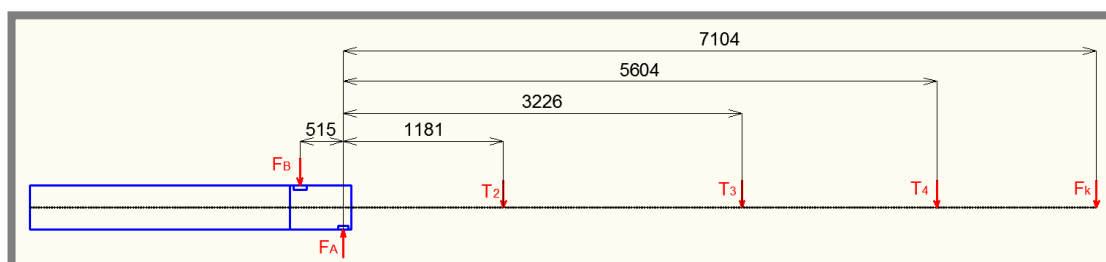
Obr. 6-36 Podvozek s popisem komponent

6.2.10 Kontrolní výpočty

Při konstrukčním řešení je vycházeno z pevnostních výpočtů uvedených v předchozí kapitole. Tyto výpočty však nejsou úplné a sloužily pouze pro posouzení jednotlivých variant. Proto je nutné najít nejvíce namáhané uzly a určit v nich průběhy napětí či velikosti deformací. Při výpočtech je užito analytické řešení, základní vztahy pružnosti a pevnosti a ve složitějších případech bude využito numerické řešení za pomoci metody konečných prvků, konkrétně programu Ansys Workbench 12.1.

Kontrola lineárního vedení

Výpočet je proveden pro maximální vysunutí ramena a jeho vodorovnou polohu, protože v tomto stavu je silové namáhání největší.



Obr. 6-37 Schematické znázornění zatížení lineárního vedení

$$-F_B + F_A - T_2 - T_3 - T_4 - F_k = 0 \Rightarrow F_B = F_A - T_2 - T_3 - T_4 - F_k$$

$$M_A = 0: 515 \cdot F_B - 1181 \cdot T_2 - 3226 \cdot T_3 - 5604 \cdot T_4 - 7104 \cdot F_k = 0$$

kde:

F_B	N	je reakční síla v podpoře B
F_A	N	- reakční síla v podpoře A
T_2	N	- zatížení vzniklé vlastní tíhou druhého segmentu ramena
T_3	N	- zatížení vzniklé vlastní tíhou třetího segmentu ramena
T_4	N	- zatížení vzniklé vlastní tíhou čtvrtého segmentu ramena
F_k	N	- tíha kamery a kamerové hlavy

- po nezbytných úpravách a dosazení neznámých do výše uvedených rovnic vychází:

$$F_A = 19\,679\text{ N}$$

$$F_B = 17\,219\text{ N}$$

- v místech podpor A a B jsou lineární vedení zdvojena, proto na každé z nich působí poloviční zatížení $F_A/2=9840\text{ N}$, $F_B/2=8610\text{ N}$.

- únosnost zvoleného lineárního vedení je **11 300 N**, proto **VYHOVUJE**.

Kontrola čepu horizontální osy jeřábu

Materiálem čepu je konstrukční ocel 11 500. Mez kluzu této oceli je $R_e=265\text{ MPa}$ a dovolený stykový tlak $p_D=120\text{ MPa}$.

Síla od ramena

$$F = \frac{1}{2} \cdot m \cdot g = \frac{1}{2} \cdot 934,9,81 = 4\,581\text{ N}$$

kde:

F	N	je tíhová síla
m	kg	- celková hmotnost ramena a protizávaží
g	ms^{-2}	- gravitační zrychlení

Kontrola na ohyb

$$\sigma_{\text{omax}} = \frac{M_{\text{omax}}}{W_o} = \frac{32 \cdot F \cdot a}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 4581 \cdot 0,015}{\pi \cdot 0,04^3} = 10,94\text{ MPa} < R_e$$

kde:

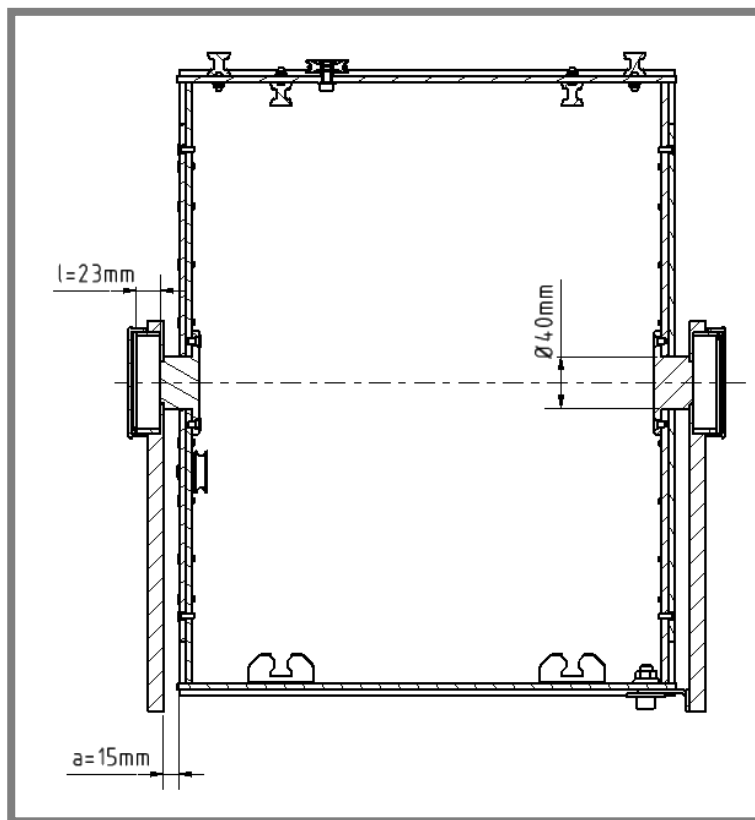
M_{omax}	N.m	je maximální ohybový moment
W_o	m^3	- modul průřezu v ohybu
F	N	- síla od ramena
a	m	- vzdálenost síly od podpory
d	m	- průměr čepu
R_e	Pa	- mez kluzu materiálu

Kontrola na otláčení

$$p = \frac{F}{l_s \cdot d} = \frac{4581}{0,046 \cdot 0,04} = 2,49\text{ MPa} < p_D$$

kde:

F	N	- síla od ramena
l_s	m	- délka styčné plochy
d	m	- průměr čepu
p_D	Pa	- dovolený tlak



Obr. 6-38 Řez uložením ramena

6.2.10

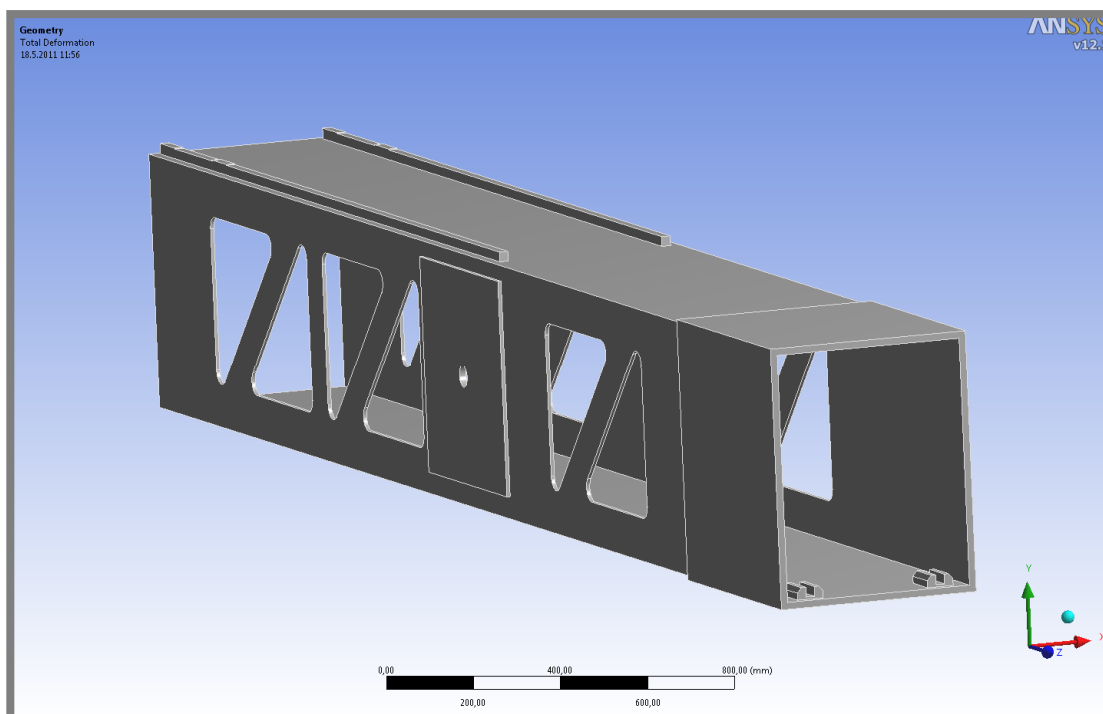
6.2.10 Pevnostní analýza ramena

Rameno je jedním z nejzatěžovanějších prvků kamerového jeřábu, je nutné provést deformačně napětovou analýzu, abychom zjistili nejenom správnost zvolených rozměrů a materiálů, ale i průhyb, který je důležitý z hlediska použitelnosti zařízení. Analýza bude provedena v programovém prostředí ANSYS Workbench 12.1.

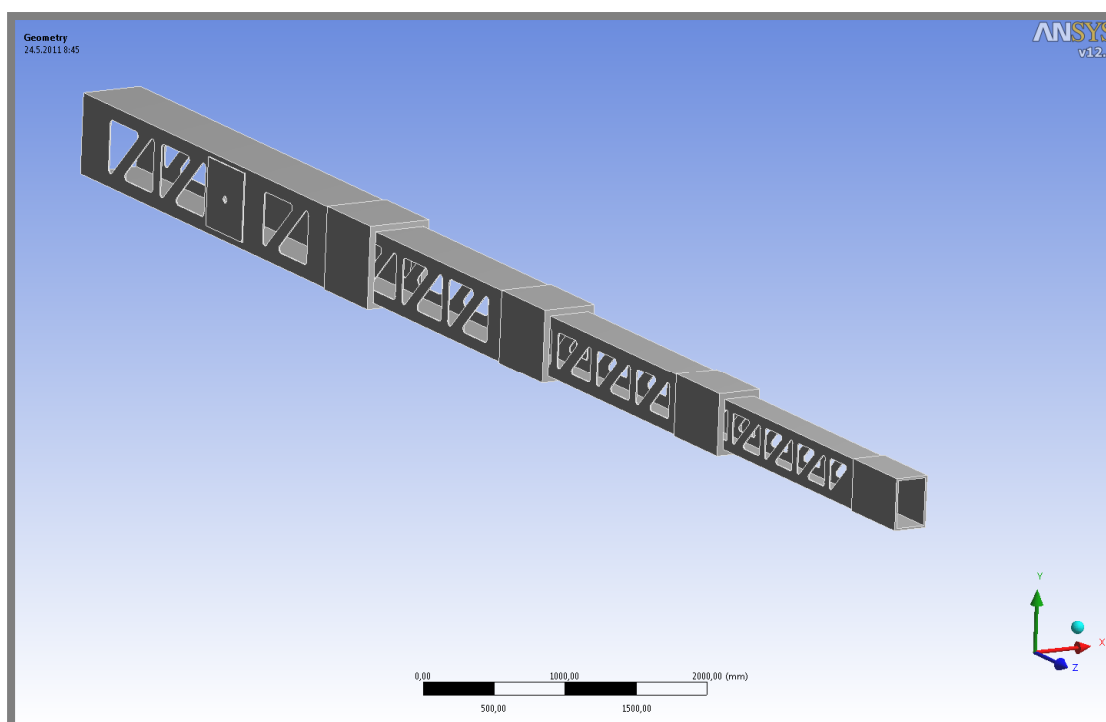
Import geometrie

Geometrie ramena je upravena pro potřeby výpočtů, což znamená, že jsou odstraněny všechny přebytečné prvky, které nemají zásadní vliv na výsledek dané analýzy. Kdyby byly tyto prvky v modelu ponechány, znamenalo by to výrazné prodloužení výpočetních časů. Pro tuto konstrukční variantu ramena jsou vyhodnoceny dvě analýzy s rozdílnou geometrií. První je zaměřena na zjištění nejvyššího napětí, které je předpokládáno v první části ramena, a proto je zbytek ramena odstraněn. Druhá analýza určuje maximální deformace (průhyb), proto musí být ponechána celá geometrie ramena. Tato geometrie je však zjednodušena v oblasti styku jednotlivých segmentů ramena, z důvodu snížení výpočetních časů. Pro další zjednodušení výpočtu je sestava ramena modelována jako celek, což umožní lepší

návaznost konečnoprvkové sítě a tím i získání přesnějších výsledků. Geometrie je, díky vzájemné kompatibilitě programů Ansys Workbench a Autodesk Inventor 2010, přímo importována.



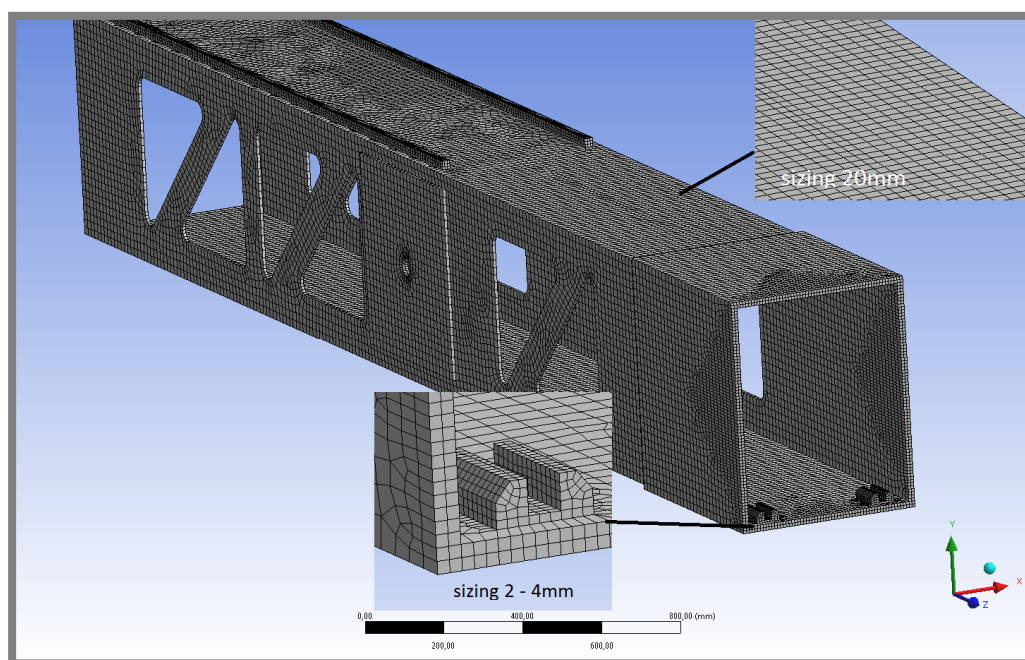
Obr. 6-39 Výchozí geometrie varianty C pro první analýzu



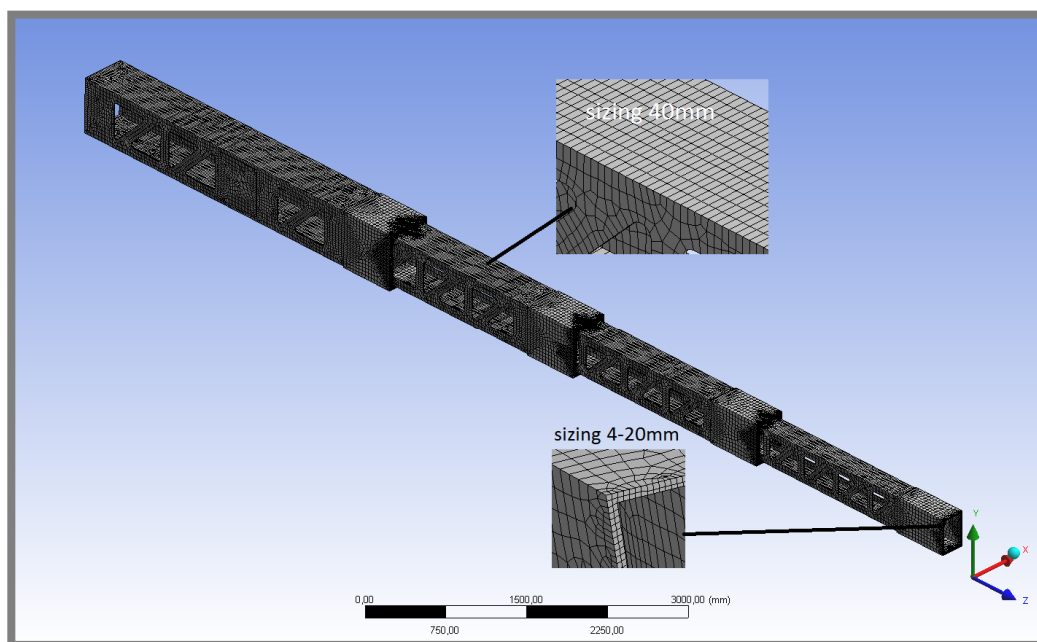
Obr. 6-40 Výchozí geometrie varianty C pro druhou analýzu

Konečnoprvková síť

Konečnoprvková síť zásadním způsobem ovlivňuje výsledky, proto je důležité zvolit ji optimálně. Síť musí být dostatečně hustá, aby byly výsledky dostatečně přesné. Zároveň však nesmí být přehuštěna, aby byl výpočet proveditelný v akceptovatelném čase. Proto je pro první analýzu zaměřenou na zjištění nejvyššího napětí v první části ramena volena jemnější síť a naopak pro analýzu zaměřenou na průhyb celého ramena je použita síť hrubší. Vhodnost dané sítě vždy posuzuje uživatel s ohledem na své dosavadní zkušenosti s MKP. Základním prvkem, který program používá pro 3D součásti je desetiuzlový tetraedron tzv. „solid 187“. Pro součásti pravidelného obdélníkového tvaru je vhodnější použít dvacetiuzlový prvek „solid 186“. K definování velikosti prvků slouží funkce „sizing“. V oblasti otvorů je velikost prvků 4mm, naopak na velkých plochách se pohybuje v rozmezí 15 až 40mm. Následující obrázky ukazují konečnoprvkovou síť použitou pro napěťovou i deformační analýzu.



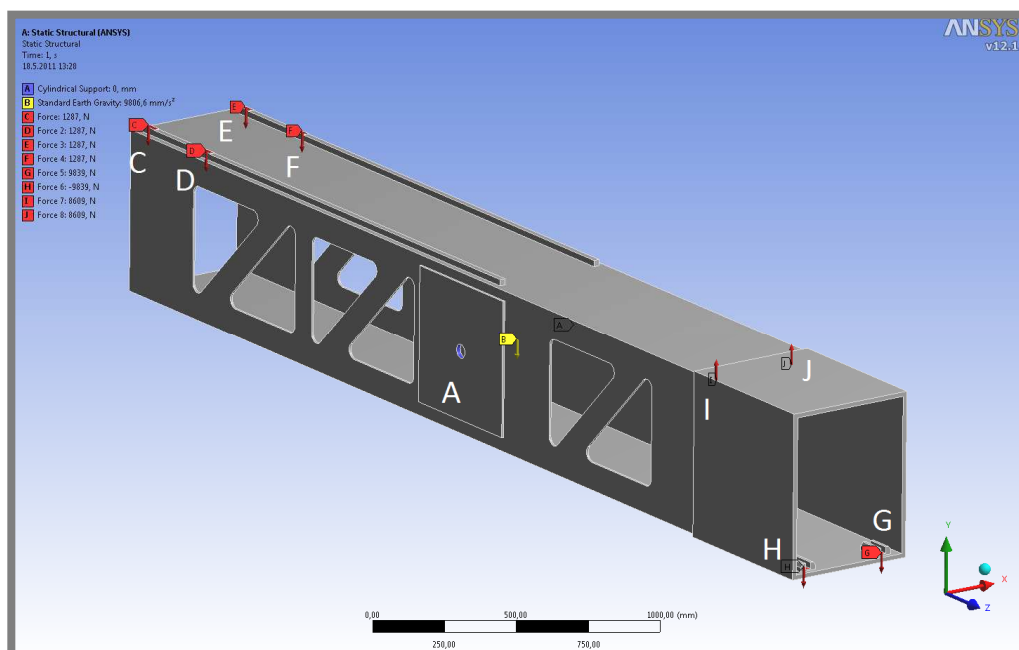
Obr. 6-41 Konečnoprvková síť s detaily pro první analýzu



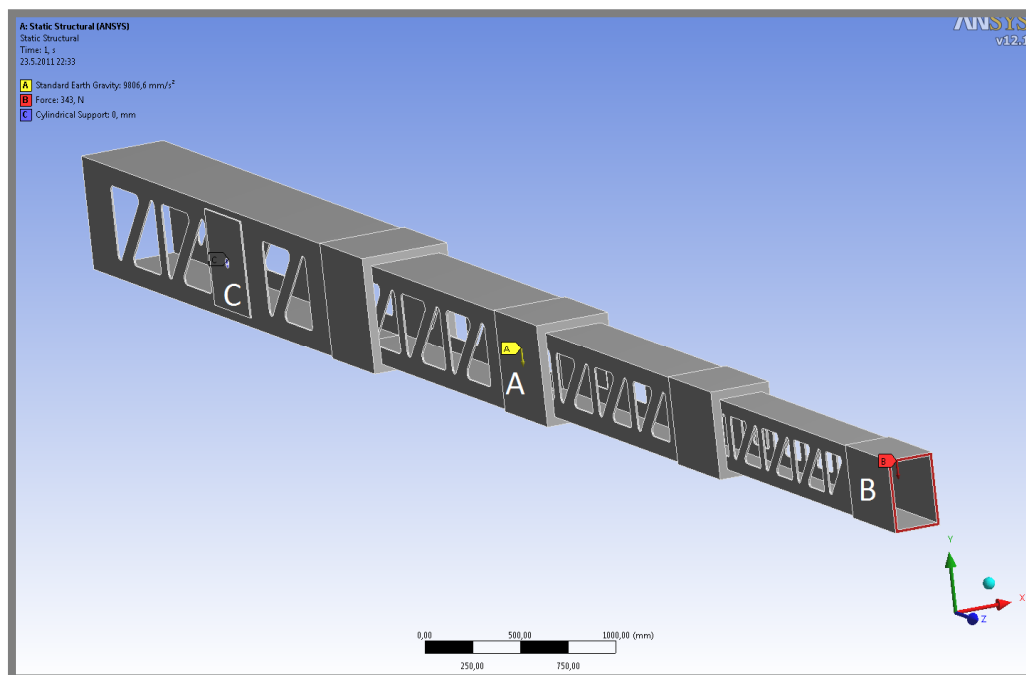
Obr. 6-42 Konečnoprvková síť s detaily pro druhou analýzu

Vazby a zatížení

U obou analýz je použita vazba „cylindrical“ se zafixováním pohybu ve všech směrech. V první analýze je zatížení od tíhy kamerové hlavy, kamery a vlastní tíhy zbylých třech částí ramena nahrazeno čtyřmi silami soustředěnými do míst styku kolejnic a pojezdových kazet G, H, I, J. Velikost těchto sil je vypočtena v kapitole 6.2.10 „Kontrola lineárního vedení“. Na opačné straně ramena je tíha závaží opět nahrazena čtyřmi silami velikosti 1287N v místech C, D, E, F. Druhá analýza, zaměřená na průhyb, je zatížena pouze silou od tíhy kamery a kamerové hlavy v místě „B“ o velikosti 344N. Posledním zátěžným prvkem je vlastní tíha „Standard Earth Gravity“, která je nastavena u obou variant výpočtu.



Obr. 6-43 Zatížení ramena pro první analýzu



Obr. 6-44 Zatížení ramena pro druhou analýzu

Materiál

Jak už je zmíněno v kapitole 6.2, rameno je vyrobeno z lehké slitiny hliníku AlMgSi0,5. Následující tabulka obsahuje všechny materiálové parametry potřebné pro definování materiálu v programu Ansys Workbench.

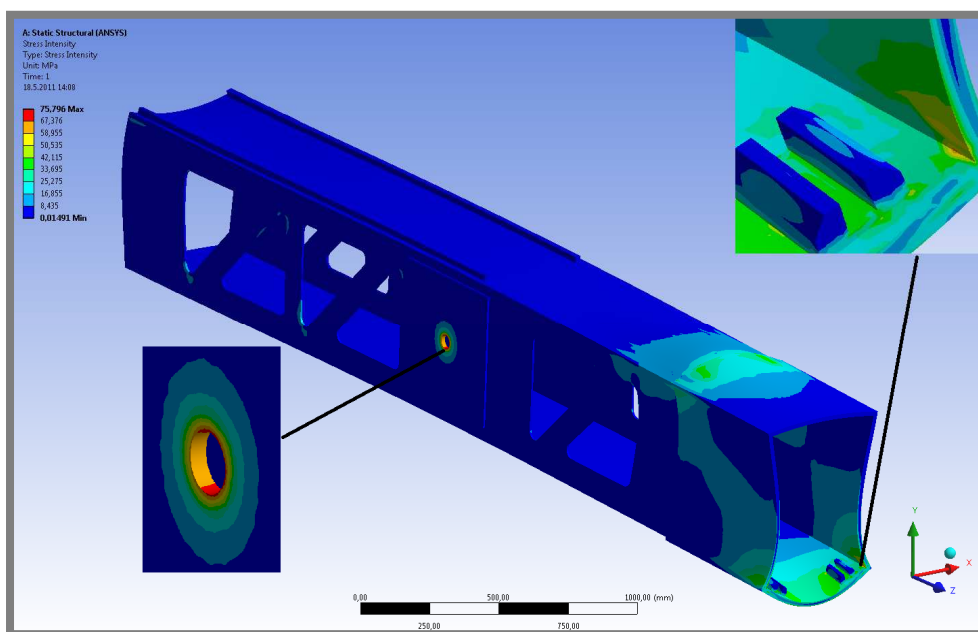
Tab. 6-3 Vlastnosti materiálu

HLINÍKOVÁ SLITINA AlMgSi0,5
izotropní
$E = 0,75 \times 10^5$ [MPa]
$\nu = 0,34$ [-]
$R_m = 215$ [MPa]
$R_e = 160$ [MPa]
$A = 8$ [%]

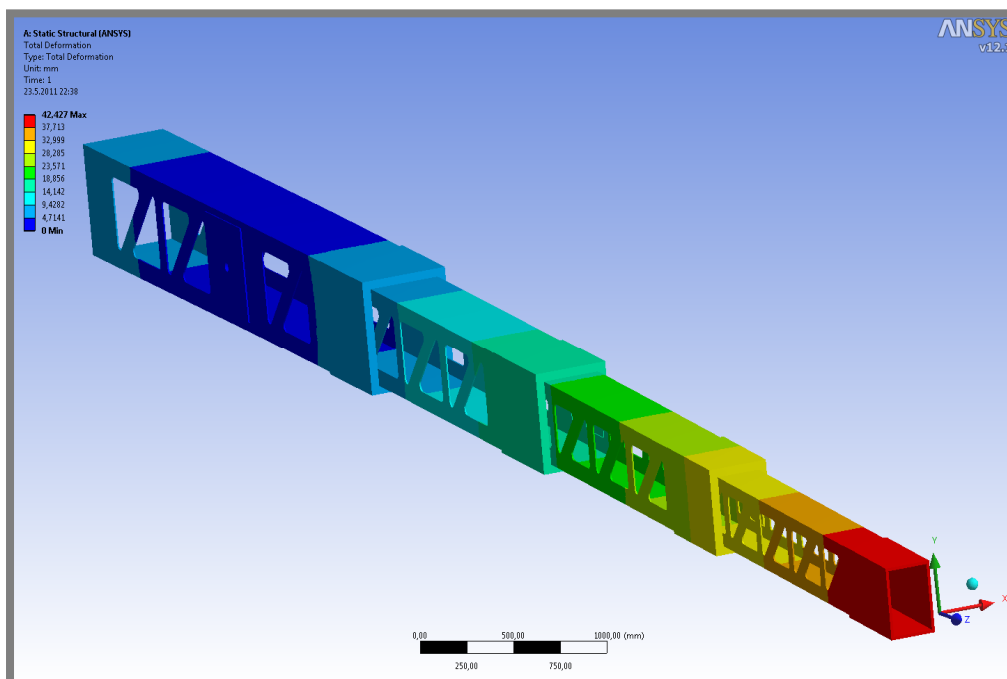
Vyhodnocení výsledků

Pro použití kamerového jeřábu je důležité, aby vzniklá napětí v rameni byla několikanásobně nižší, než je napětí dovolené R_m nebo napětí na mezi kluzu R_e , protože je od ramena vyžadována velká tuhost. Ve výpočetním programu volíme v menu „solution“ vykreslování „stress intensity, tedy podmínku $\max \tau$, protože je konzervativnější než HMH . Výsledky první analýzy ukazují maximální napětí 75 MPa v oblastech styku jednotlivých stupňů ramena a v místě uložení osy otáčení. Napětí je více než dvojnásobně nižší než napětí na mezi kluzu R_e , proto by nemělo dojít k žádným plastickým deformacím a elastické deformace jsou v poměru k délce ramena minimální. Druhá analýza, zabývající se průhybem, dle očekávání ukazuje maximální deformace 42 mm na konci ramena. Tyto deformace jsou vyšetřovány hlavně z důvodu možnosti použití lineárního vedení, které vyžaduje minimální průhyb. Maximální možný průhyb není v katalogu uveden, proto bylo konkrétní

řešení konzultováno s dodavatelem lineárního vedení Hoerbiger-Origa, který možnost použití lineárního vedení potvrdil. Na základě těchto výsledků můžeme konstatovat, že tato konstrukce ramena je pro kamerový jeřáb vhodná, jak z pevnostního, tak i funkčního hlediska. V porovnání s analytickými výpočty, uvedenými v kapitole 5.3, se výsledky MKP několikanásobněliší liší. Tento rozdíl je způsoben zavedením prutových předpokladů u analytického řešení, které zanedbávají vruby a kontakty mezi jednotlivými částmi ramena.



Obr. 6-45 Rozložení redukovaného napětí a detail nejvíce namáhané oblasti první analýzy



Obr. 6-46 Rozložení celkových deformací ramena

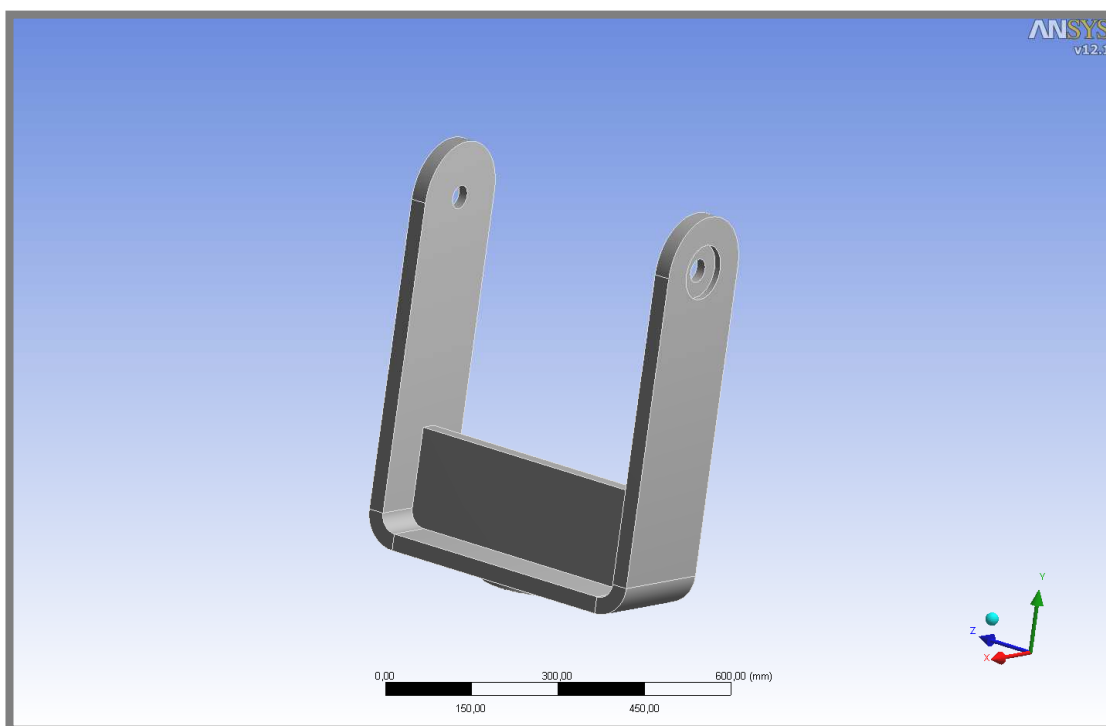
6.2.11

6.2.11 Pevnostní analýza uložení ramena

Držák ramena je jednou z velmi namáhaných součástí jeřábu, která zásadním způsobem ovlivňuje jeho tuhost. Proto je tato součást podrobena deformačně napěťové analýze v prostředí programu Ansys Workbench.

Import geometrie

Geometrie držáku, je stejně jako v předchozím případě, upravena pro potřeby výpočtů, což znamená, že jsou odstraněny všechny přebytečné prvky, které nemají zásadní vliv na výsledek dané analýzy. Kdyby byly tyto prvky v modelu ponechány, znamenalo by to výrazné prodloužení výpočetních časů. Naopak, je geometrie ze spodní strany doplněna o kruhový výstupek, který simuluje kontakt s vrchní částí sloupu. Pro další zjednodušení výpočtu je sestava ramena modelována jako celek, což umožní lepší návaznost konečnoprvkové sítě a tím i získání přesnějších výsledků. Geometrie je, díky vzájemné kompatibilitě programů Ansys Workbench a Autodesk Inventor 2010, přímo importována.

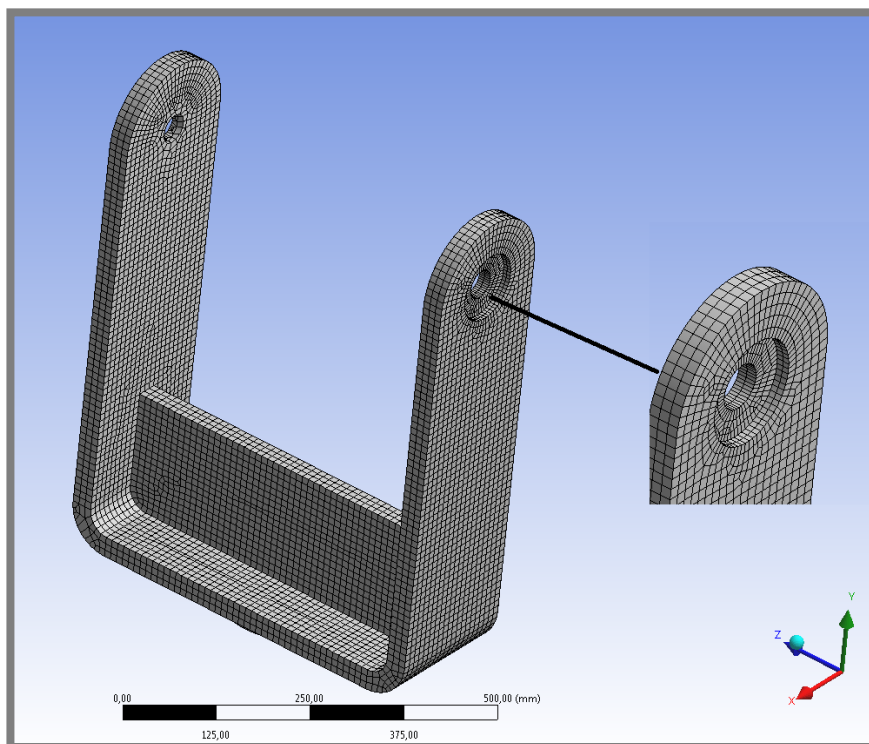


Obr. 6-47 Geometrie držáku ramena

Konečnoprvková síť

Na geometrickém modelu držáku je dále třeba vytvořit konečnoprvkovou síť. Konečnoprvková síť zásadním způsobem ovlivňuje výsledky, proto je důležité zvolit ji optimálně. Síť musí být dostatečně hustá, aby byly výsledky dostatečně přesné. Zároveň však nesmí být přehuštěna, aby byl výpočet proveditelný v akceptovatelném čase. Vhodnost dané sítě vždy posuzuje uživatel s ohledem na své dosavadní zkušenosti s MKP. Základním prvkem, který program používá pro 3D součásti je desetiuzlový tetraedron tzv. „solid 187“. Pro součásti pravidelného obdélníkového tvaru je vhodnější použít dvacetiuuzlový prvek „solid 186“. K definování velikosti prvků slouží funkce „sizing“. V oblasti otvorů je velikost prvků 3mm, naopak na

větších plochách se pohybuje v rozmezí 5 až 8mm. Následující obrázek ukazuje konečnoprvkovou síť použitou deformačně napěťovou analýzu.



Obr. 6-48 Konečnoprvková síť s detaily

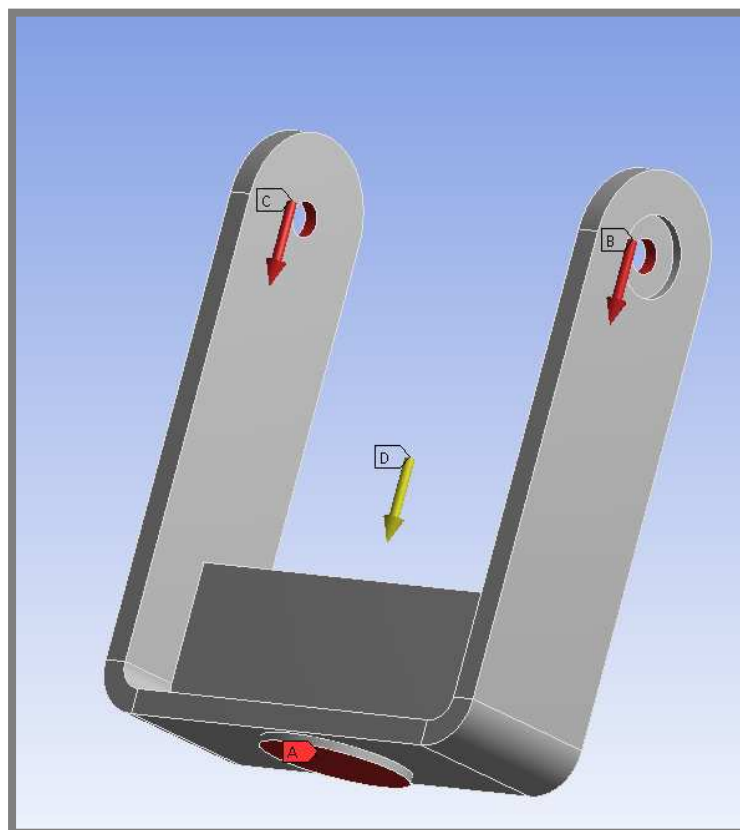
Vazby a zatížení

V místě „A“ je použita vazba „displacement“ se zafixováním pohybu ve všech směrech. Součást je dále v místech „B“ a „C“ zatížena silou o velikosti 7 626N, která nahrazuje hmotnost ramena a protizávaží. Tato síla je dále navýšena o koeficient dynamického zatížení, který je stanoven kvalifikovaným odhadem. Posledním zátěžným prvkem je vlastní tíha „Standard Earth Gravity“.

$$F_{zd} = \frac{m \cdot g \cdot k}{2} = \frac{914,6 \cdot 9,81 \cdot 1,7}{2} = 7\,626\text{N}$$

kde:

F_{zd}	N	je síla nahrazující tíhu ramena a protizávaží
m	kg	hmotnost ramena a protizávaží
g	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	gravitační zrychlení
k	-	koeficient dynamického zatížení



Obr. 6-49 Zatížení držáku ramena

Materiál

Jak už je zmíněno v kapitole 6.2.7, držák ramena je vyroben z oceli 11 523. Následující tabulka obsahuje všechny materiálové parametry potřebné pro definování materiálu v programu Ansys Workbench.

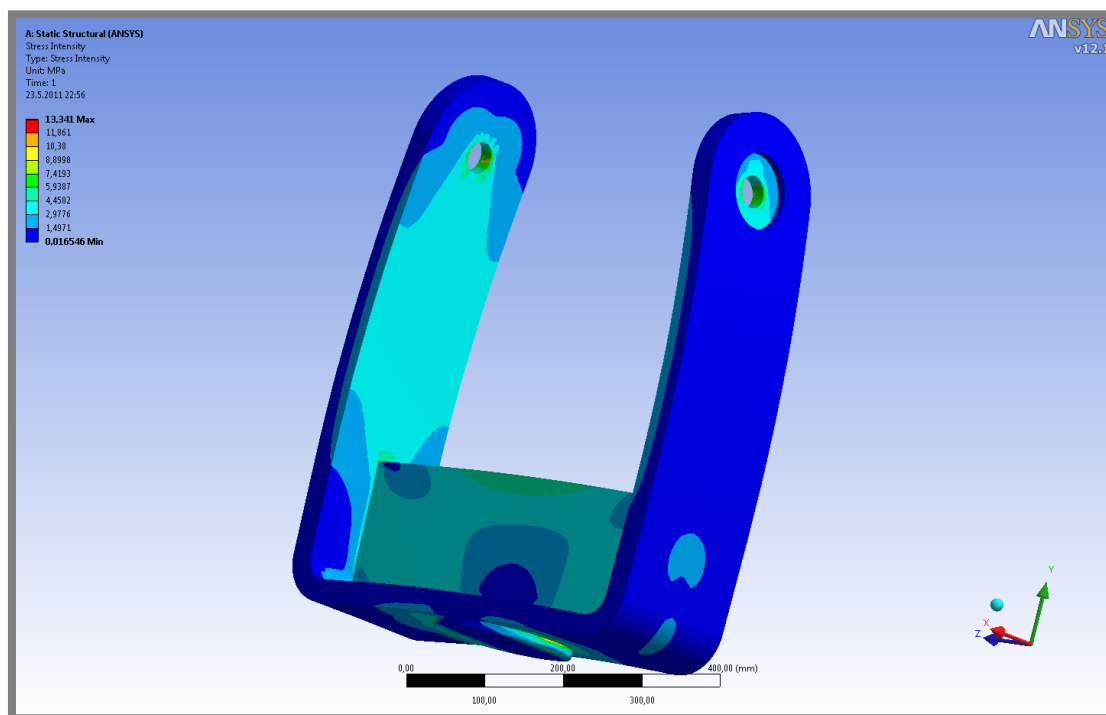
Tab. 6-4 Vlastnosti materiálu

OCEL 11 523
izotropní
$E = 2,1 \times 10^5$ [MPa]
$\nu = 0,3$ [-]
$R_m = 550$ [MPa]
$R_e = 355$ [MPa]
$A = 20$ [%]

Vyhodnocení výsledků

Pro použití kamerového jeřábu je důležité, aby vzniklá napětí v držáku byla několikanásobně nižší, než je napětí dovolené R_m nebo napětí na mezi kluzu R_e , protože je od držáku vyžadována velká tuhost. Ve výpočetním programu volíme v menu „solution“ vykreslování „stress intensity, tedy podmínku $\max \tau$, protože je konzervativnější než HMM. Výsledky ukazují maximální napětí 13 MPa. V porovnání s napětím na mezi kluzu je toto napětí několikanásobně nižší, a proto by nemělo dojít k žádným plastickým deformacím a elastické deformace jsou v řádu desetin milimetru. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že konstrukce držáku je pro kamerový jeřáb vhodná jak z pevnostního, tak i funkčního hlediska a je dostatečně

dimenzována i pro extrémní případy zatížení, jakými jsou například silný poryv větru nebo pohyb po prudkém svahu.



Obr. 6-50 Rozložení redukovaného zatížení v držáku ramena

7 ZÁVĚR (KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ)

Úkolem této práce bylo provedení konstrukčního návrhu kamerového jeřábu pro společnost Filmochod s.r.o. Hlavními požadavky byly, vedle technických parametrů, velmi nízká ekonomická náročnost, jednoduchost, snadná manipulace a montáž či demontáž zařízení. Všechny tyto požadavky byly splněny a na základě technické dokumentace byl vyroben prototyp, který byl předán do rukou zadavatele.

Po úspěšné realizaci této varianty a nabytí praktických zkušeností s konstrukcí kamerového jeřábu, byl firmou Filmochod s.r.o. vznesen požadavek na návrh složitější varianty jeřábu. Tato varianta vychází z původního zadání (vyložení ramena 9m), ale umožňuje použití i těžkých profesionálních kamerových hlav a kamer s hmotností do 35kg. Dalším inovativním prvkem je natáčení dynamických záběrů pomocí elektricky vysouvaného ramena s automatickým vyvažováním. Složitější varianta zůstává prozatím ve formě 3D modelu.

Konstrukční řešení

Při konstrukčním řešení bylo čerpáno z poznatků získaných při rešeršní činnosti. Byl proveden přehled několika konstrukčních variant, které používají ostatní výrobci kamerových jeřábů a filmové techniky. Dále byly stanoveny klady a zápory jednotlivých provedení a jejich ekonomická náročnost. Po zhodnocení těchto poznatků, bylo vybráno teleskopické řešení ramena a bylo přistoupeno k vlastní konstrukci. Mezi hlavní výhody teleskopického řešení patří možnost plynulé regulace délky ramena a rychlá montáž či demontáž. U první varianty řešení s vyložení ramena 6m a hmotností kamery 8kg je vysouvání plně mechanické, čímž je vyhověno požadavkům jednoduchosti, bezúdržbovosti a ekonomické hospodárnosti. Rameno je s ohledem na minimalizaci hmotnosti, tvořeno čtyřmi dutými čtvercovými hliníkovými profily. Tyto profily se do sebe zasouvají, čímž společně se snadnou rozebiratelností zbytku konstrukce plní podmínku kompaktních rozměrů pro přepravu menším užitkovým vozem.

Druhá varianta konstrukčně vychází z předchozí varianty. Jsou však změněny základní parametry, kterými jsou vyložení ramena 9m a hmotnost kamerové hlavy s kamerou až 35kg. Takto zásadní změna parametrů vyžaduje mnohem mohutnější konstrukci a znemožňuje použití běžně vyráběných profilů. Rameno je opět složeno ze čtyř segmentů, které se do sebe teleskopicky zasouvají. Teleskopický pohyb všech stupňů ramena je současný a je poháněn pouze jedním krokovým motorem přes soustavu lan, kladek a lanových kol. Vysouvání ramena je synchronizováno s pohybem protizávaží, a proto je rameno vždy automaticky vyváženo. Rameno je uloženo v běžných kuličkových ložiskách, protože se na rozdíl od předchozí varianty nepředpokládá častá demontáž. Otočný sloup kromě pohybu kolem vertikální osy umožňuje i teleskopický výsuv, který je ovládaný manuálně přes jednoduchou převodovku a je využitelný v případě potřeby většího rozsahu pohybu ramena kolem vodorovné osy. Sloup je připevněn k masivní podvozkové části, která je vybavena dvěma řiditelnými nápravami s možností aretace přímého směru a čtyřma stavitelnými nohama pro vyrovnání jeřábu v terénu.

Po dokončení konstrukční fáze, byly provedeny pevnostní kontroly u nejvíce namáhaných konstrukčních uzlů. U jednoduchých výpočtů, jakými jsou například kontroly čepů na ohyb či otláčení bylo užito analytické řešení a základní vztahy pružnosti a pevnosti. Naopak ve složitějších případech při zpracování deformačně napětíových analýz bylo využito numerické řešení za pomoci metody konečných

prvků, konkrétně programu Ansys Workbench 12.1. Ve všech případech kontrolované součásti vyhověly pevnostním i deformačním požadavkům konstrukce. Pro obě varianty řešení byla zpracována výkresová dokumentace dle norem ISO. První varianta je zpracována kompletně, včetně výrobních výkresů. Pro druhou variantu je k dispozici pouze hlavní sestava a výkresy hlavních konstrukčních uzlů.

Ekonomické zhodnocení

Jedním z hlavních kritérií prvního návrhu byla ekonomická hospodárnost, které je z velké části dosaženo použitím normalizovaných polotovarů a konvečně vyráběných součástí. Kamerový jeřáb byl vyroben v dílnách ústavu konstruování jako prototyp, proto by nebylo přínosem stanovovat přesnější ekonomickou rozvahu s cenami jednotlivých operací, protože tyto ceny se např. od cen v sériové výrobě výrazně liší. Pro přibližnou představu finanční náročnosti je níže uvedena tabulka s cenami použitého materiálu.

Tab. 7-1 Ceny materiálu použitého pro výrobu první varianty

POPIS POLOŽKY	DODAVATEL	CENA
hutní materiál (trubky, plechy)	Ferona a.s	4 460 Kč
hliníkové profily	ALUPA s.r.o.	3 690 Kč
kola otočná s brzdou	Blickle a.s.	4 640 Kč
protizávaží	Insportline	6 655 Kč
aretační čepy a ovládací páky	Marek Industrial a.s.	1 504 Kč
spojuvací materiál		1 285 Kč
	SOUČET	22 234 Kč

Druhá varianta je zaměřena především na velkou tuhost a přesnost pohybu, což zvyšuje nároky na přesnost výroby i použitých součástí. Přesto se podařilo, použitím normalizovaných polotovarů a konvenčně vyráběných součástí, dosáhnout na zlomek ceny běžně vyráběných kamerových jeřábů. Tabulka níže uvádí ceny použitého materiálu a součástí.

Tab. 7-2 Ceny materiálu použitého pro výrobu druhé varianty

POPIS POLOŽKY	DODAVATEL	CENA
hutní materiál (trubky, plechy)	Ferona a.s.	9 820 Kč
hliníkový plech	ALUPA s.r.o.	31 700 Kč
lineární vedení	Fluidtechnik Bohemia s.r.o.	165 312 Kč
lano	Monteco	3 487 Kč
krokový motor	Microcon s.r.o.	4 380 Kč
protizávaží	-	12 000 Kč
ložiska	SKF	830 Kč
ovládací páky	Marek Industrial a.s.	1 920 Kč
kola	Mefro a.s.	18 400 Kč
	SOUČET	247 849 Kč

Konečnou cenu za materiál nelze srovnávat s prodejní cenou vyrobeného jeřábu. Přesto, jak uvádí Tab.2-1, cena kamerového jeřábu společnosti Technocrane s.r.o. s obdobnými parametry je 215 000 € (při aktuálním přepočtu 5 375 000 Kč).

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**8**

- [1] URGOŠÍKOVÁ, Blažena. *NFA* [online]. 2008 [cit. 2011-05-10]. Počátky kinematografie. Dostupné z WWW: <<http://www.nfa.cz/pocatky-kinematografie.html>>.
- [2] THOMPSON, Roy; BOWEN, Christopher J. *Grammar of the shot*. Burlington : Focal Press, 2009. 219 s.
- [3] *Cinematography : Theory and practice*. London : Focal Press, 1998. 313 s. ISBN 0-240-80500-3.
- [4] *Profesionální video* [online]. 2010 [cit. 2011-05-09]. Visualcomm. Dostupné z WWW: <<http://www.visualcomm.cz/webmagazine/products.asp?idk=474>>.
- [5] UVA, Michael G. *Dollies, Cranes, & Camera Heads*. Watford : Cine Press, 2009. 579 s. ISBN 978-0-9620813-6-1.
- [6] *Aaron* [online]. 2011 [cit. 2011-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.aaron.cz/produkty/velbon-cx-686-f-2>>.
- [7] *The Steady Approach* [online]. 2006 [cit. 2011-05-10]. BHphotovideo. Dostupné z WWW: <<http://www.bhphotovideo.com/find/newsLetter/Steadicam.jsp>>.
- [8] *Technika* [online]. 2006 [cit. 2011-05-20]. ASDesign. Dostupné z WWW: <<http://asdesign.cz/en/technika/steadicam-professional-cn.html>>.
- [9] *Pierre Pasler* [online]. 2005 [cit. 2011-05-10]. Polecam. Dostupné z WWW: <http://www.poleview.com/frame/polecam_efpole.html>.
- [10] *KGS* [online]. 2001 [cit. 2011-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://kgs.be/RentalMain/IndexRental.html>>.
- [11] *Department of radio, tv and video* [online]. 2003 [cit. 2011-05-20]. Kocaeli University. Dostupné z WWW: <<http://if.kocaeli.edu.tr/english/rtc.htm>>.
- [12] *Professional camera* [online]. 2002 [cit. 2011-05-10]. ARRI Group. Dostupné z WWW: <http://www.arri.de/camera/professional_camera_accessories/support_systems/arrihead_2.html#_blank>.
- [13] *Supertechno* [online]. 2001 [cit. 2011-05-08]. Technocrane. Dostupné z WWW: <<http://www.supertechno.com/>>.
- [14] *Airfloater* [online]. 2009 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.airfloater.com/>>.
- [15] SHIGLEY, J. E, MISCHKE, Ch. R, BUDYNAS, R. G. *Konstruování strojních součástí*. Vitium, 2008. 1300 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

- [16] ANSYS Release 12.1 Documentation
- [17] *Fluidtechnik Bohemia s.r.o.* [online]. 2006 [cit. 2011-05-15]. Lineární vedení. Dostupné z WWW: <<http://www.fluidbohemia.cz/index.php?&desktop=clanky&id=26>>.
- [18] *Microcon s.r.o.* [online]. 2004 [cit. 2011-05-12]. Krokové motory. Dostupné z WWW: <<http://www.microcon.cz/>>.
- [19] *Ferona a.s.* [online]. 2002 [cit. 2011-05-10]. Hutní materiál. Dostupné z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php>>.
- [20] *Alupa s.r.o.* [online]. 2006 [cit. 2011-05-15]. Hliníkové profily a plechy. Dostupné z WWW: <<http://www.alupa.cz/>>.
- [21] *Blickle a.s.* [online]. 2000 [cit. 2011-05-12]. Pojezdová kola. Dostupné z WWW: <<http://blickle.cz/>>.
- [22] *Mefro* [online]. 2004 [cit. 2011-05-12]. Mefro Wheels. Dostupné z WWW: <<http://www.mefro-wheels.com/>>.
- [23] *Marek industrial a.s.* [online]. 2002 [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <<http://marek.eu/>>.
- [24] *Insportline* [online]. 2004 [cit. 2011-05-10]. Fitness. Dostupné z WWW: <<http://www.insportline.cz/zavazi-s-otvorem-30-mm>>.
- [25] *SKF* [online]. 2000 [cit. 2011-05-02]. Ložiska. Dostupné z WWW: <http://www.skf.com/portal/skf_cz/home>.
- [26] *Monteco* [online]. 2005 [cit. 2011-05-02]. Vázací prostředky. Dostupné z WWW: <<http://www.monteco.cz/>>.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN**9**

q	[N.m ⁻¹]	- liniové zatížení
m_p	[kg.m ⁻¹]	- poměrná hmotnost profilu
g	[m.s ⁻²]	- gravitační zrychlení
M_o	[N.m ⁻¹]	- ohybový moment
F_k	[N]	- tíha od kamerové hlavy a kamery
l	[m]	- délka ramena
F_z	[N]	- tíha závaží
m_z	[kg]	- hmot[N]ost závaží
J	[mm ⁴]	- kvadratický moment průřezu
A	[mm]	- vnější rozměr čtvercového průřezu
a	[mm]	- vnitřní rozměr čtvercového průřezu
Δw	[mm]	- průhyb na konci ramena
W	[J]	- energie napjatosti
E	[Pa]	- Youngův modul pružnosti
W_o	[mm ³]	- průřezový modul v ohybu
l_m	[m]	- délka modulu
x_1, x_2, x_3, x_4	[m]	- rozměry ramena viz. schéma
F	[N]	- síla od ramena
m	[kg]	- celková hmotnost ramena a protizávaží
d	[m]	- průměr čepu
R_e	[Pa]	- mez kluzu materiálu
l_s	[m]	- délka styčné plochy
p_D	[Pa]	- dovolený tlak
F_j	[N]	- tíhová síla od jeřábu
l_p	[m]	- délka nosníku podvozku
l_{2z}	[m]	- délka lana potřebná k zasunutí stupně č.2
s_1	[m]	- délka prvního stupně
x_2	[m]	- vzdálenost ukotvení lana od okraje stupně č.2
l_{2v}	[m]	- délka lana potřebná k vysunutí stupně č.2
s_2	[m]	- délka druhého stupně
l_z	[m]	- délka lana potřebná k zasunutí stupně
l_v	[m]	- délka lana potřebná k vysunutí stupně
ω_1	[rad.s ⁻¹]	- úhlová rychlost
v_2	[m.s ⁻¹]	- rychlost výsuvu stupně č.2
d_{2v}	[mm]	- průměr lanového kola pro výsuv stupně č.2
d_{2z}	[mm]	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.2
n_1	[min ⁻¹]	- otáčky hřídele
a_{2v}	[mm]	- šířka lanového kola pro výsuv stupně č.2
t	[mm]	- průměr použitého lana
a_{2z}	[mm]	- šířka lanového kola pro zasouvání stupně č.2
d_{3v}	[mm]	- průměr lanového kola pro výsuv stupně č.3
v_3	[m.s ⁻¹]	- rychlost výsuvu stupně č.3
d_{3z}	[mm]	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.3
a_{3v}	[mm]	- šířka lanového kola pro výsuv stupně č.3
l_{3v}	[mm]	- délka lana potřebná pro výsuv stupně č.3
d_{3v}	[mm]	- průměr lanového kola pro výsuv stupně č.3
a_{3z}	[mm]	- šířka lanového kola pro zasouvání stupně č.3

l_{3z}	[mm]	- délka lana potřebná pro zasouvání stupně č.3
d_{4v}	[mm]	- průměr lanového kola pro výsuv stupně č.4
v_4	[m.s ⁻¹]	- rychlost výsuvu stupně č.4
d_{4z}	[mm]	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.4
a_{4v}	[mm]	- šířka lanového kola pro výsuv stupně č.4
l_{4v}	[mm]	- délka lana potřebná pro výsuv stupně č.4
d_{4v}	[mm]	- průměr lanového kola pro výsuv stupně č.4
a_{4z}	[mm]	- šířka lanového kola pro zasouvání stupně č.4
l_{4z}	[mm]	- délka lana potřebná pro zasouvání stupně č.4
d_{4z}	[mm]	- průměr lanového kola pro zasouvání stupně č.4
F_{z2}	[N]	- tíha protizávaží pro vyvážení ramena
t_r	[s]	- čas, za který se rameno vysune na maximální délku
x_{kmax}	[m]	- maximální výsuv ramena
x_{kmin}	[m]	- minimální výsuv ramena
v_r	[m.s ⁻¹]	- rychlost vysouvání koncového bodu ramena
t_z	[s]	- čas, za který rameno musí urazit pojezdovou vzdálenost
v_z	[m.s ⁻¹]	- rychlost pohybu závaží
x_{zmax}	[m]	- maximální vyložení závaží
x_{zmin}	[m]	- minimální vyložení závaží
t_z	[s]	- čas, za který rameno musí urazit pojezdovou vzdálenost
l_{zd}	[m]	- délka lana pro pohyb závaží směrem k otočnému bodu
l_{zz}	[m]	- délka lana pro zpětný pohyb závaží
ω_2	[rad.s ⁻¹]	- úhlová rychlost
v_{zd}	[m.s ⁻¹]	- rychlost lana pro pohyb závaží směrem k otočnému bodu
d_{zd}	[mm]	- průměr lanového kola pro pohyb závaží směrem k otočnému bodu
d_{zz}	[mm]	- průměr lanového kola pro zpětný pohyb závaží
n_2	[min ⁻¹]	- otáčky hřídele
a_{zd}	[mm]	- šířka lanového kola pro pohyb závaží směrem k otočnému bodu
d_{zd}	[mm]	- průměr lanového kola pro pohyb závaží směrem k otočnému bodu
a_{zz}	[mm]	- šířka lanového kola pro zpětný pohyb závaží
l_{zz}	[m]	- délka lana pro zpětný pohyb závaží
M_k	[N.m]	- kroutící moment
m_k	[kg]	- hmotnost kamery a kamerové hlavy
μ	[-]	- koeficient tření lineárního vedení
M_{ks}	[N.m]	- kroutící moment navýšený na doporučení výrobce o 50%
i_{12}	[-]	- převodové číslo
d_{r1}	[mm]	- průměr řemenového kola č.1
d_{r2}	[mm]	- průměr řemenového kola č.2
F_B	[N]	- reakční síla v podpoře B
F_A	[N]	- reakční síla v podpoře A

T_2	[N]	- zatížení vzniklé vlastní tíhou druhého segmentu ramena
T_3	[N]	- zatížení vzniklé vlastní tíhou třetího segmentu ramena
T_4	[N]	- zatížení vzniklé vlastní tíhou čtvrtého segmentu ramena
F_{zd}	[N]	- síla nahrazující tíhu ramena a protizávaží
k	[-]	- koeficient dynamického zatížení

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1-1 Panoramování	14
Obr. 1-2 Naklápění	15
Obr. 1-3 Tracking (sledování) [3]	15
Obr. 1-4 Countermove (protipohyb) [3]	15
Obr. 1-5 Stativ [6]	16
Obr. 1-6 Steadicam [7]	17
Obr. 1-7 Steadicam - detail [8]	17
Obr. 1-8 Polecam s příslušenstvím [9]	18
Obr. 1-9 Nákladní automobil jako základna kamerového jeřábu [5]	19
Obr. 1-10 Nůžková konstrukce ramena [5]	20
Obr. 1-11 Teleskopická konstrukce ramena [10]	20
Obr. 1-12 Obsluha kamerového jeřábu	21
Obr. 1-13 Ruční držení kamery [11]	22
Obr. 1-14 Tekutinová hlava [5]	23
Obr. 1-15 Převodová hlava [12]	23
Obr. 1-16 Dálkově ovládaná hlava [13]	24
Obr. 1-17 Airfloater [14]	24
Obr. 1-18 Ovládání kamerové hlavy airfloater [14]	24
Obr. 1-19 Závislost ceny kamerové hlavy na její nosnosti	25
Obr. 5-1 Schematické znázornění varianty A včetně základních rozměrů	29
Obr. 5-2 Zjednodušení ramena na vetknutý nosník se zatížením vlastní tíhou a silou od kamery a kamerové hlavy	29
Obr. 5-3 Uvolnění ramena s vyznačením spojitého zatížení od vlastní tíhy ramena a sil od kamerové hlavy a protizávaží	30
Obr. 5-4 Schematické znázornění varianty B včetně základních rozměrů	31
Obr. 5-5 Zjednodušení ramena na vetknutý nosník se zatížením vlastní tíhou a silou od kamery a kamerové hlavy	32
Obr. 5-6 Uvolnění ramena s vyznačením spojitého zatížení od vlastní tíhy ramena a sil od kamerové hlavy a protizávaží	33
Obr. 5-7 Schematické znázornění varianty C včetně základních rozměrů	34
Obr. 5-8 Zjednodušení ramena na vetknutý nosník se zatížením vlastní tíhou a silou od kamery a kamerové hlavy	35
Obr. 5-9 Uvolnění ramena s vyznačením spojitého zatížení od vlastní tíhy ramena a sil od kamerové hlavy a protizávaží	36
Obr. 6-1 Znázornění kamerového jeřábu s vyznačením krajních poloh společně s hlavními rozměry	38
Obr. 6-2 Teleskopické rameno s označením jeho částí	39
Obr. 6-3 Řez ramenem s popisem hlavních částí	39
Obr. 6-4 Držák kamery/fotoaparátu s popisem komponent	40
Obr. 6-5 Schéma čtyřčlenného mechanismu	41
Obr. 6-6 Tubus s detaily vybraných komponent	41
Obr. 6-7 Řez tubusem v rovině čepu s popisem komponent	42
Obr. 6-8 Vyvažování s popisem komponent	42
Obr. 6-9 Držák ramena s popisem komponent	43
Obr. 6-10 Podélný řez otočným sloupem s detaily	44
Obr. 6-11 Stolek s popisem komponent	45

Obr. 6-12 Podvozek s popisem komponent	46
Obr. 6-13 Montážní schematický náčrtek kamerového jeřábu s pozicemi	47
Obr. 6-14 Řez uložením ramena	49
Obr. 6-15 Výchozí geometrie pro deformačně napěťovou analýzu	50
Obr. 6-16 Konečnoprvková síť s detaily	51
Obr. 6-17 Zatížení ramena	51
Obr. 6-18 Zatížení ramena se zpomalením	52
Obr. 6-19 Rozložení redukovaného napětí a detail nejvíce namáhané oblasti	53
Obr. 6-20 Rozložení celkových deformací ramena	53
Obr. 6-21 Znázornění kamerového jeřábu s vyznačením krajních poloh společně s hlavními rozměry	54
Obr. 6-22 Teleskopické rameno s označením jeho částí	55
Obr. 6-23 Řez ramenem s označením jeho částí	56
Obr. 6-24 Lineární vedení Hoerbiger - Origa	57
Obr. 6-25 Držák kamerové hlavy	57
Obr. 6-26 Systém vysouvání ramena	58
Obr. 6-27 Kinematické schéma vzájemného pohybu prvního a druhého stupně	59
Obr. 6-28 Systém automatického vyvažování	62
Obr. 6-29 Uvolnění ramena s vyznačením spojitého zatížení od vlastní tíhy ramena a sil od kamerové hlavy a protizávaží	63
Obr. 6-30 Diagram popisující závislost vysunutí ramena x_k na vzdálenosti závaží od osy otáčení x_z .	64
Obr. 6-31 Graf závislosti hmotnosti kamery m_k na hmotnosti protizávaží m_z	66
Obr. 6-32 Momentová charakteristika krokového motoru SM2321-1400	68
Obr. 6-33 Držák ramena s aretací	69
Obr. 6-34 Otočný sloup	70
Obr. 6-35 Řez otočným sloupem s detaily a popisem	71
Obr. 6-36 Podvozek s popisem komponent	72
Obr. 6-37 Schematické znázornění zatížení lineárního vedení	72
Obr. 6-38 Řez uložením ramena	74
Obr. 6-39 Výchozí geometrie varianty C pro první analýzu	75
Obr. 6-40 Výchozí geometrie varianty C pro druhou analýzu	75
Obr. 6-41 Konečnoprvková síť s detaily pro první analýzu	76
Obr. 6-42 Konečnoprvková síť s detaily pro druhou analýzu	77
Obr. 6-43 Zatížení ramena pro první analýzu	77
Obr. 6-44 Zatížení ramena pro druhou analýzu	78
Obr. 6-45 Rozložení redukovaného napětí a detail nejvíce namáhané oblasti první analýzy	79
Obr. 6-46 Rozložení celkových deformací ramena	79
Obr. 6-47 Geometrie držáku ramena	80
Obr. 6-48 Konečnoprvková síť s detaily	81
Obr. 6-49 Zatížení držáku ramena	82
Obr. 6-50 Rozložení redukovaného zatížení v držáku ramena	83

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Parametry jeřábů jednoho z renomovaných výrobců a jejich ceny	26
Tab. 5-1 Parametry jednotlivých profilů ramena jeřábu	32
Tab. 5-2 Parametry jednotlivých profilů ramena jeřábu	35
Tab. 5-3 Porovnání hlavních parametrů všech variant	37
Tab. 6-1 Vlastnosti materiálu	52
Tab. 6-2 Dopočtené délky lan pro zbývající stupně	59
Tab. 6-3 Vlastnosti materiálu	78
Tab. 6-4 Vlastnosti materiálu	82
Tab. 7-1 Ceny materiálu použitého pro výrobu první varianty	85
Tab. 7-2 Ceny materiálu použitého pro výrobu druhé varianty	85

12 SEZNAM PŘÍLOH**12**

Přílohy k této práci tvoří renderované obrázky, fotografie a výkresová dokumentace zpracována dle normy ISO.

Příloha 1 Varianta B s rozloženým ramenem

Příloha 2 Varianta B se složeným ramenem

Příloha 3 Varianta C s rozloženým ramenem

Příloha 4 Varianta C se složeným ramenem

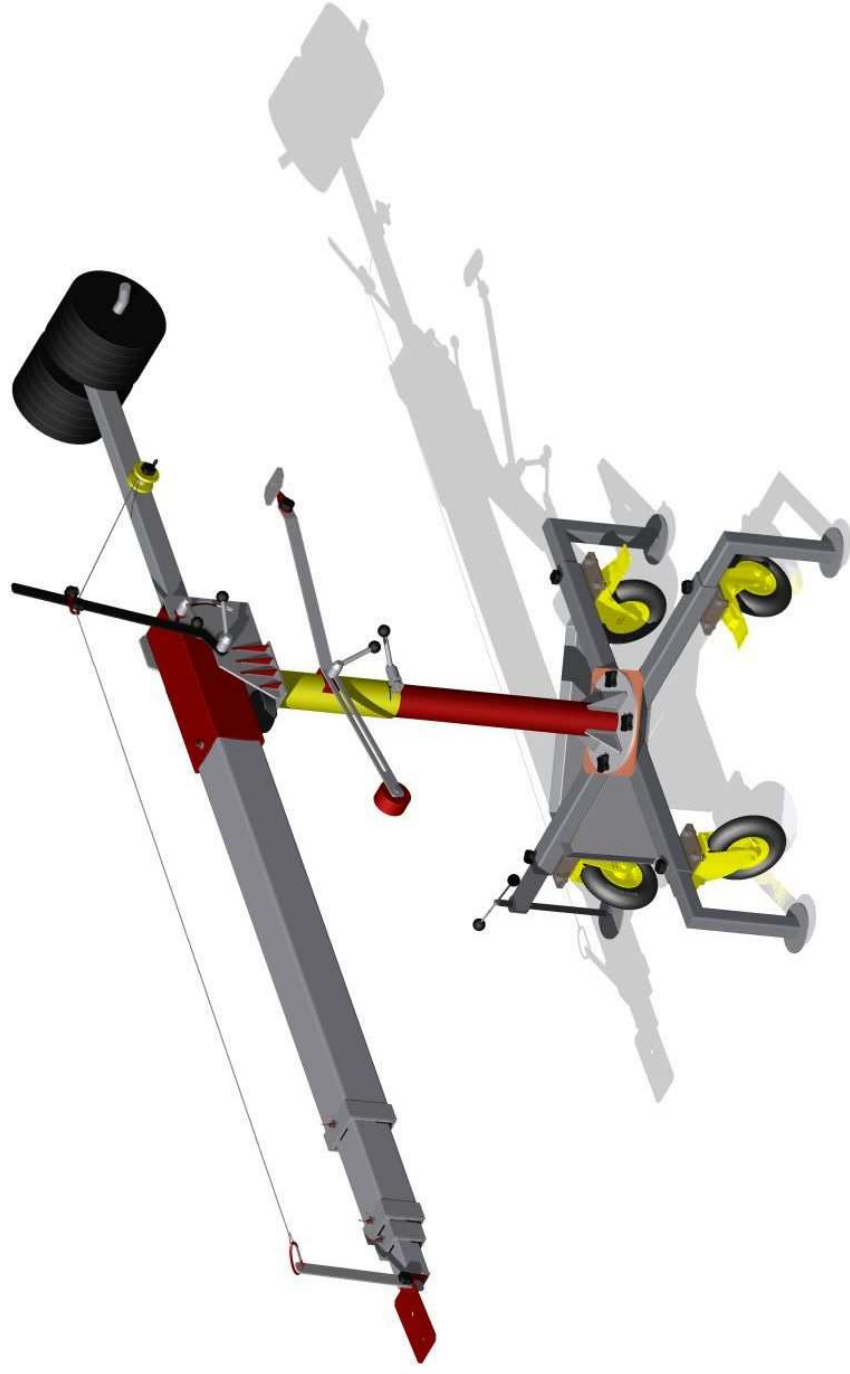
Příloha 5 Fotografie reálné varianty B

Příloha 6 Detaily varianty B

JERAB_B	0-KSI-00-01
RAMENO_B	2-KSI-00-01.1
TUBUS_B	3-KSI-00-01.2
DRZAK_RAMENA_B	3-KSI-00-01.3
SLOUP_B	3-KSI-00-01.4
PODVOZEK_B	3-KSI-00-01.5
JERAB_C	0-KSI-00-02
RAMENO_C	2-KSI-00-02.1
DRZAK_RAMENA_B	3-KSI-00-02.2
SLOUP_B	3-KSI-00-02.3
PODVOZEK_B	3-KSI-00-02.4



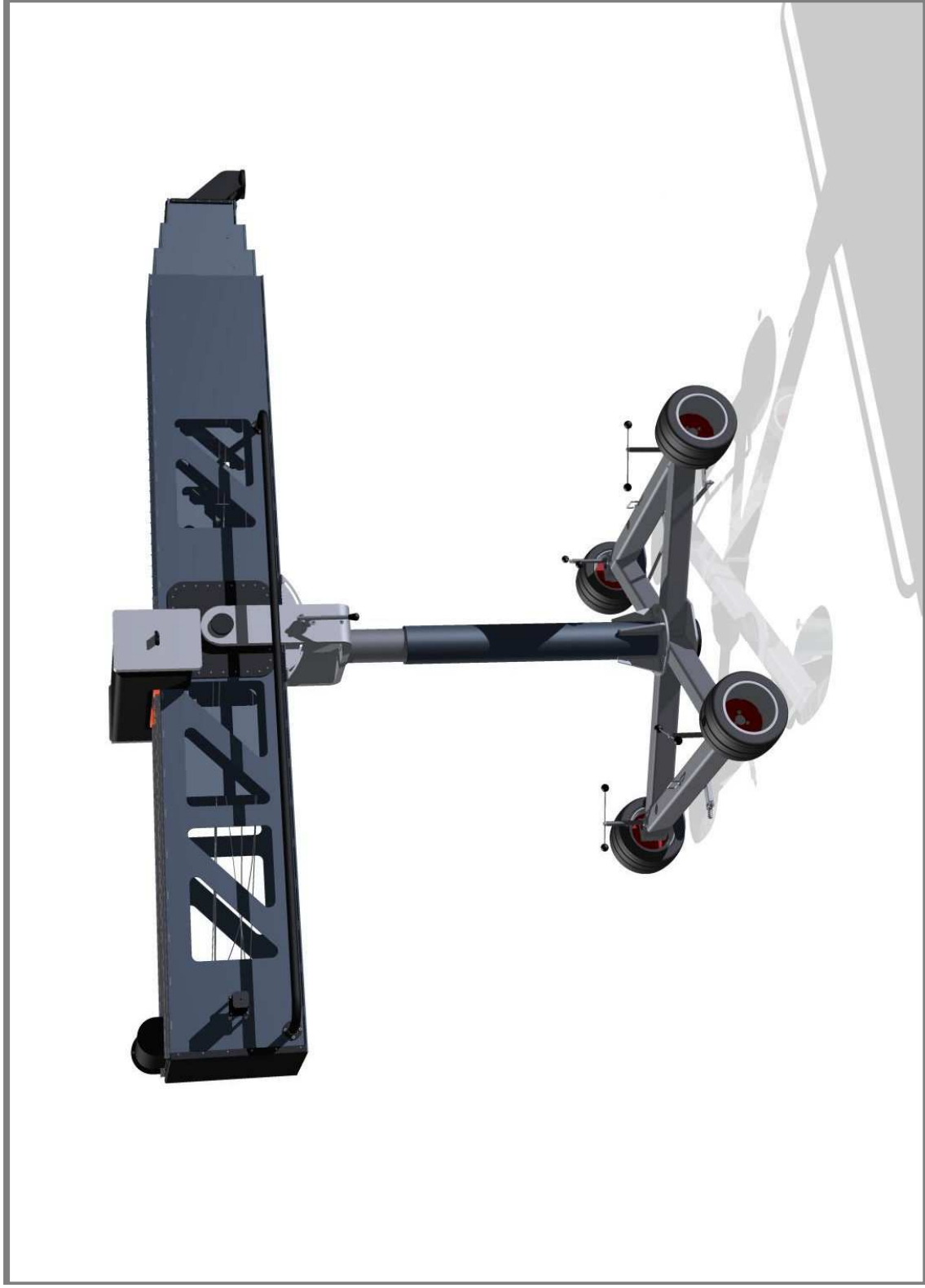
Příloha 1 Varianta B s rozloženým ramenem



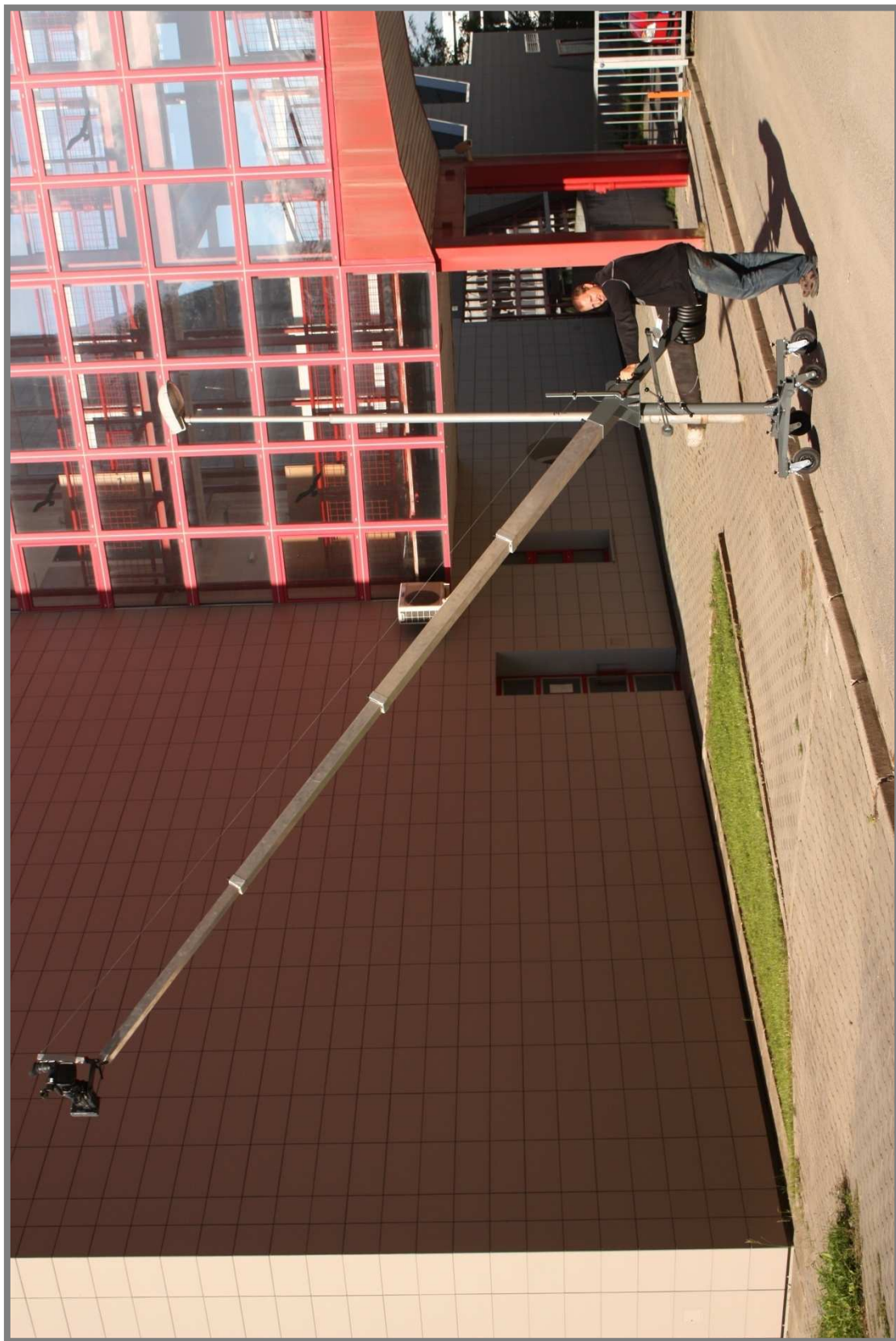
Příloha 2 Varianta B se složeným ramenem



Příloha 3 Varianta C s vysunutým ramenem



Příloha 3 Varianta C se zasunutým ramenem



Příloha 4 Fotografie reálné varianty B



Příloha 5 Detaily varianty B