



**FAKULTA
ŠTOJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Návrh dokovací stanice pro drony

Design of drone docking station

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Marek ŠTOSEK

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD ŠTOJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Karel Petr, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Štosek** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **474818**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh dokovací stanice pro drony

Název bakalářské práce anglicky:

Design of Drone Docking Station

Pokyny pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je návrh autonomní platformy pro přistání bezpilotního prostředku (dronů), jeho uskladnění a výměnu pohonných akumulátorů umožňující jejich autonomní provoz bez nutnosti vnějšího zásahu lidské údržby nebo přítomnosti operátora. Platforma se bude skládat z kovového pláště bránícího neoprávněné manipulaci a vlivu nepříznivých klimatických podmínek, bude obsahovat robotické a mechatronické systémy pro manipulaci s bezpilotním prostředkem uvnitř platformy a výměnu pohonných akumulátorů ze zásobníku. Práce bude obsahovat rešerši používaných řešení v praxi a výběr optimálního konceptu. V práci budou provedeny potřebné návrhové a kontrolní výpočty důležitých uzlů a budou navrženy pohony dílčích uzlů. Rozsah grafické části: Sestavný výkres, výkres vybrané podsestavy a výrobní výkres vybraného dílu.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spojení částí spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
- [2] Joseph E. Shigley: Konstruování strojních součástí. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [3] FREDERICK E. GIESECKE. Technical Drawing with Engineering Graphics. 2014. Pearson New International Edition. ISBN 13: 9781292026183.
- [4] Katalogy výrobců.
- [5] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. Části strojů. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1999. ISBN 80-03-00426-8

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **23.03.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **29.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Karel Petr, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Návrh dokovací stanice pro drony“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Karla Petra, Ph.D., s použitím literatury, která je uvedena na konci bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

.....

Marek Štosek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Karlu Petrovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval společnosti NST HK, s.r.o. a společnosti AgentFly Technologies, s.r.o., za možnost podílet se na tomto projektu. Chtěl bych také poděkovat za konzultace zaměstnancům těchto společností a v neposlední řadě celé mé rodině za podporu a pomoc při celém studiu.

Anotační list

Jméno autora:	Marek Štosek
Název BP:	Návrh dokovací stanice pro drony
Anglický název:	Design of drone docking station
Rok:	2020
Studijní program:	B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Obor studia:	2301R000 Studijní program je bezoborový
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP:	Ing. Karel Petr, Ph.D.
Bibliografické údaje:	počet stran 79 počet obrázků 75 počet tabulek 4 počet příloh 8
Klíčová slova:	dron, použití dronu, dokovací stanice, návrh pohonů a pohybů, konstrukce, manipulátor, efektor
Keywords:	drone, uses of drone, docking station, design of drives and movements, construction, manipulator, effector
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem dokovací stanice pro drony. Při návrhu se vychází ze zadaných parametrů použitého dronu a akumulátoru. Dle řešerše je zhotoven návrh základního konceptu stanice, který je následně rozdělen na dílčí pohony. U každého z pohonů je nastíněno vícero možností konstrukčních řešení a následně je proveden návrh vybraného řešení, včetně nezbytných výpočtů. Dále je vytvořen 3D model celé stanice, zahrnující vybrané podsestavy.
Abstract:	The bachelor thesis's deals with the design of a drone docking station. The design is built based on the specified parameters of the given drone and the rechargeable battery. Based on the research the design of the basic station concept is made and it is subsequently divided into sub-drives. For each drive, multiple options of design solutions are outlined. A design of the chosen solution is consequently implemented, including the necessary calculations. A 3D model of the entire station is also created, including selected subassemblies.

Obsah

1. Úvod.....	1
1.1. Cíl práce	1
1.2. Zadané parametry pro návrh dokovací stanice.....	1
2. Teoretická část práce.....	2
2.1. Rešerše dostupných variant	2
2.1.1. Skyport od společnosti Skysense.....	3
2.1.1.1. Zhodnocení varianty s ohledem na naše zadání.....	3
2.1.2. Přistávací platforma od společnosti Airobotics	3
2.1.2.1. Zhodnocení varianty s ohledem na naše zadání.....	4
2.1.3. Dokovací stanice od společnost Azur drones	4
2.1.3.1. Zhodnocení varianty s ohledem na naše zadání.....	5
2.1.4. Platforma od společnosti Atlas dynamics	5
2.1.4.1. Zhodnocení varianty s ohledem na naše zadání.....	6
2.1.5. Výběr optimálního konceptu	6
2.2. Využití dokovací stanice	7
2.2.1. Inspekce průmyslových objektů.....	7
2.2.2. Sledování dopravních komunikací.....	7
2.2.3. Mapování a zeměměřičství	8
2.2.4. Přeprava zdravotního materiálu	8
2.2.5. Využití ve vojenském průmyslu.....	9
3. Praktická část práce.....	10
3.1. Chronologická analýza pohybů v dokovací stanici	10
3.2. Návrh otevírání hangáru	10
3.2.1. Konstrukční varianty	10
3.2.1.1. Otevírání pomocí pohybového šroubu	11
3.2.1.2. Otevírání pomocí ozubeného hřebenu a pastorku	11
3.2.1.3. Otevírání pomocí rolovací rolety.....	12
3.2.1.4. Použití lineární osy s nekonečným řemenem.....	13
3.2.1.5. Otevírání pomocí kloubového mechanismu	14
3.2.2. Zhodnocení dostupných variant otevírání hangáru a výběr řešení.....	14
3.2.3. Návrh mechanismu pro otevírání hangáru pomocí ozubeného hřebenu a pastorku	15
3.2.3.1. Rozbor zvolené varianty	15
3.2.3.2. Zadané hodnoty pro návrhový výpočet	17
3.2.3.3. Výpočet kinematických poměrů.....	19
3.2.3.4. Kontrolní výpočet ozubení.....	20
3.3. Návrh zvedání přistávací plošiny	21
3.3.1. Zvedání pomocí nůžkového mechanismu	21
3.3.2. Hřebenový zvedák.....	22
3.3.3. Šroubový zvedák	23
3.3.4. Hydraulický zvedák.....	24
3.3.5. Zhodnocení dostupných variant realizace výsuvu plošiny a výběr řešení	24
3.3.6. Návrh konstrukční řešení plošiny s využití nůžkového mechanismu	25

3.3.7.	Rozbor zvolené varianty	25
3.3.7.1.	Zadané hodnoty pro návrhový výpočet	26
3.3.7.2.	Výpočet sil působících v nůžkovém mechanismu	27
3.3.7.3.	Uvolnění tělesa 2.....	29
3.3.7.4.	Uvolnění tělesa 3.....	29
3.3.7.5.	Uvolnění tělesa 4.....	30
3.3.7.6.	Uvolnění tělesa 5.....	30
3.3.7.7.	Uvolnění tělesa 6.....	31
3.3.7.8.	Návrhový výpočet čepového spoje v bodě E.....	33
3.3.7.9.	Kontrolní výpočet čepového spoje v bodě E	34
3.3.7.10.	Návrh pohybového šroubu.....	35
3.3.7.11.	Kontrolní výpočty pohybového šroubu.....	38
3.3.7.12.	Návrh elektromotoru.....	39
3.3.7.13.	Výběr elektromotoru	40
3.3.7.14.	Kontrola ložiskových domečků	41
3.4.	Návrh ramena pro manipulaci s akumulátorem	43
3.4.1.	Jednouúčelové manipulátory.....	43
3.4.1.1.	Manipulátor s kartézským pracovním prostorem	44
3.4.1.2.	Manipulátor s cylindrickým pracovním prostorem.....	44
3.4.1.3.	Varianta A.....	46
3.4.1.4.	Varianta B	46
3.4.1.5.	Varianta C	47
3.4.2.	Zhodnocení variant manipulátorů a výběr řešení.....	47
3.4.3.	Rozbor zvoleného konstrukčního řešení.....	48
3.4.3.1.	Zadané hodnoty pro návrhový výpočet	49
3.4.3.2.	Uvolnění tělesa 3.....	50
3.4.3.3.	Uvolnění tělesa 2.....	51
3.4.3.4.	Návrh profilu tělesa 3	52
3.4.3.5.	Výpočet maximálního průhybu tělesa 3	53
3.4.3.6.	Kontrola tělesa 2	55
3.4.3.7.	Výpočet maximálního průhybu tělesa 2	57
3.4.3.8.	Analýza nosníků pomocí MKP	58
3.5.	Konstrukce efektoru (chapadla).....	60
3.5.1.	Podtlakové efektoru	60
3.5.2.	Magnetické efektoru	61
3.5.3.	Mechanické efektoru	62
3.5.4.	Použití řešení efektoru	62
4.	Závěr.....	64
	Seznam použité literatury	66
	Seznam obrázků	68
	Seznam tabulek	70
	Seznam zkratk a symbolů	70
	Seznam příloh.....	72

1. Úvod

V posledních letech začíná být tematika spojená s drony a jinými bezpilotními prostředky velmi rozšířená, jak na specializovaných pracovištích, tak u běžných uživatelů. Hlavní myšlenkou u návrhu této autonomní dokovací stanice pro drony je obrovská možnost využití dronů v různých oborech průmyslu jako sledovací prostředek, či pro dopravu různých zásilek, což bude dále nastíněno. Pokud se zákazník rozhodne pořídit takovou stanicí s dronem, pak díky němu dokáže zpracovávat ohromné množství důležitých informací, které zákazníkovi mohou následně pomoci zefektivnit službu, kterou provozuje. Dokovací stanice zvládá odolávat okolním podmínkám a je konstruována pro použití na jednom místě delší dobu. Dron díky tomu dokáže přistávat jak díky GPS systému, tak za použití vizuálních informací.

Myslím si, že vývoj takovéto autonomní dokovací stanice má obrovský potenciál a na trh by měla obrovský dopad, pokud se její využití osvědčí v praxi.

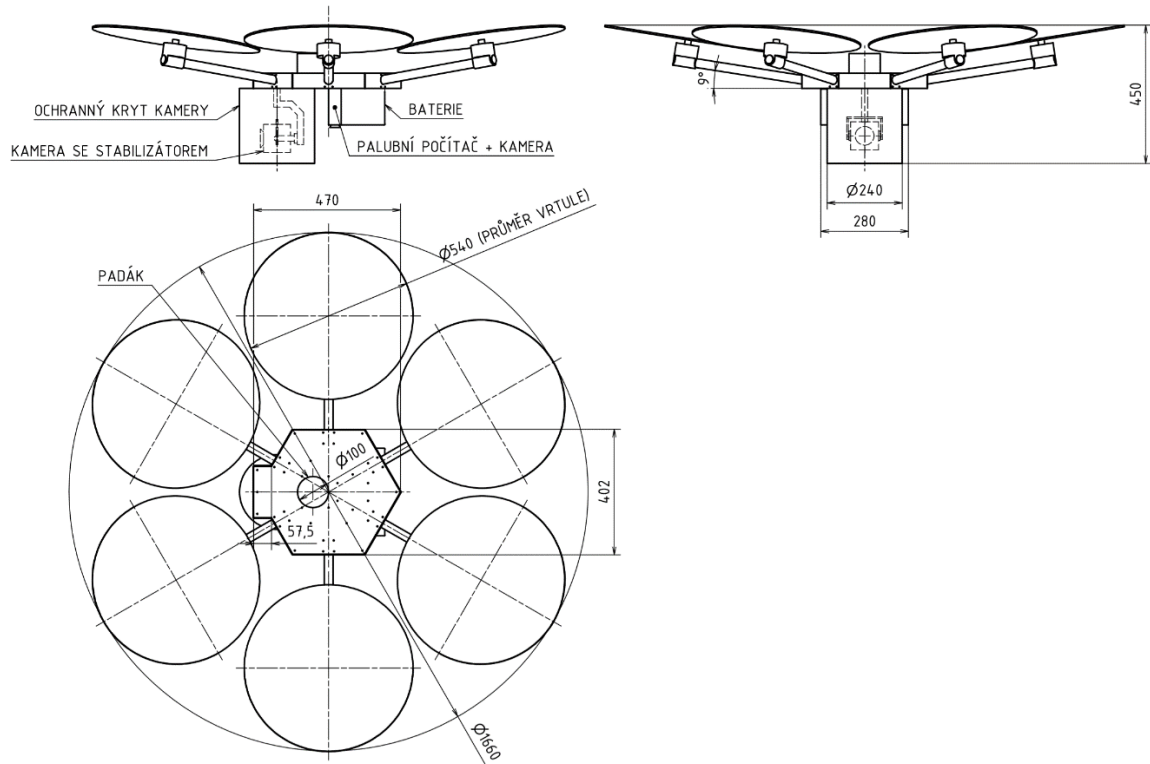
1.1. Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je návrh autonomní platformy pro přistání bezpilotního prostředku (dále jen dronu), jeho uskladnění a výměnu pohonných akumulátorů umožňující jejich autonomní provoz bez nutnosti vnějšího zásahu lidské údržby nebo přítomnosti operátora. Tato platforma se bude skládat z kovového pláště bránícího neoprávněné manipulaci a vlivu nepříznivých klimatických podmínek. Dále bude obsahovat robotické a mechatronické systémy pro manipulaci s dronem uvnitř platformy a výměnu pohonných akumulátorů ze zásobníku.

1.2. Zadané parametry pro návrh dokovací stanice

Při návrhu dokovací stanice budeme vycházet z následujících parametrů:

- Hmotnost dronu (včetně akumulátoru) 12 kg
- Hmotnost akumulátoru 5 kg
- Základní rozměry dronu viz obrázek 1.
- Přesnost přistání (za špatných povětrnostních podmínek) ± 50 mm
- Počet zásobníku pro akumulátory uvnitř stanice 4 ks
- Rozměry akumulátoru 280x140x120 (ŠxHxV)



Obrázek 1. Schéma dronu se základními rozměry [Vlastní zdroj]

2. Teoretická část práce

2.1. Rešerše dostupných variant

V dnešní době se stále jedná o poněkud novou oblast, týkající se provozu dronu, kterým se zabývá spousta společností. Některé společnosti používají k nabíjení dronů bezkontaktní systém podobný bezkontaktnímu nabíjení mobilních telefonů. Ostatní tento problém řeší za pomoci robotických ramen, která zajistí přímou výměnu vybitého akumulátoru za nabitý akumulátor uložený v zásobníku. Obě varianty mají své výhody i nevýhody, což bude zhodnoceno v následujících částech.

Velký problém při použití dokovací stanice v exteriéru je obecně voda. Ať už se jedná o déšť nebo o kondenzaci. Je tedy důležité ochránit proti tomuto vlivu jak elektroniku a mechanické součástky ve stanici, tak samotný dron.

Správnou funkci dokovací stanice mohou také ovlivnit nečistoty, například ve formě listů či větví, které by mohly znemožnit otevírání hangáru a následně poškodit zařízení.

2.1.1. Skyport od společnosti Skysense

Skysense Skyport je plně autonomní hangár určený pro nabíjení a ochranu dronů v drsných prostředích a na odlehlých místech. Skysense Skyport je vyroben z odolné oceli a kompozitních materiálů, obsahuje jednu nabíjecí podložku pro nabíjení akumulátorů. [1]



Obrázek 2. Vnitřní uspořádání [1]



Obrázek 3. Vnější vzhled [1]

2.1.1.1. Zhodnocení varianty s ohledem na naše zadání

V této variantě byl použit hangár, s nabíjecí deskou, která umožňuje bezkontaktní nabíjení dronu. Z obrázku 2 je vidět dobrá variabilita použití různých rozměrů dronů, kdy zákazník má možnost použití vlastního dronu. Největší problém této varianty je samozřejmě nabíjení po přistání dronu, jelikož dron v době nabíjení nemůže operovat, což by mohlo být v určitých možnostech použití kritické. Na druhou stranu při použití bezkontaktního nabíjení jsou výhodou menší rozměry hangáru, a tedy nižší náklady na materiál a snadnější přeprava.

2.1.2. Přistávací platforma od společnosti Airobotics

Společnost vytvořila zcela autonomní platformu, z které je dron automaticky poslán na různé předdefinované mise, aby shromažďoval letecká data, která systém následně analyzuje a poskytuje jasný obrázek obtížně přístupných objektů. Řešení Airobotics eliminuje logistiku související s provozováním robotů za účelem poskytování spolehlivých leteckých dat na vyžádání, prvotřídního zpracování a analytických funkcí, přičemž zjednodušuje kontrolní procesy a umožňuje provádět práci podle potřeby. [2]



Obrázek 4. Vnější vzhled platformy [2]



Obrázek 5. Výměna akumulátoru dronu [2]

2.1.2.1. Zhodnocení varianty s ohledem na naše zadání

Řešení společnosti Airobotic je velmi důmyslné a propracované oproti jiným. Můžeme si zde všimnout mnoha designových úprav, ať už se jedná o průduchy chlazení elektroniky nebo krásná designová zkosení. Co se týče technického řešení, obrovskou výhodou je použití robotického ramena při výměně akumulátoru. Dron může být ihned po výměně baterie nasazen opět do provozu a díky tomu pokračovat v zadané misi. Líbí se mi zajímavé uspořádání dokovací stanice jako celku, kdy robotické rameno je složeno podél bočního opláštění a zabírá minimum prostoru (viz obrázek 5). Díky této koncepci je dokovací stanice vzhledem k jejím možnostem poměrně malá. Na druhou stranu se domnívám, že zde bude problém při přistávání dronu za deště, kdy se stanice otevře a přímo do vnitřního prostoru s elektronikou se může dostat voda. Tohoto problému, bych se chtěl u mého konceptu vyvarovat.

2.1.3. Dokovací stanice od společnost Azur drones

Dokovací stanice Skeyetech dobíjí a ukrývá dron mezi misemi. Byla navržena tak, aby odolávala nejextrémnějším klimatickým podmínkám (IP56). Dron může být nasazen za méně než 30 sekund k výkonu mise. Díky tomu je dron Skeyetech kdykoli připraven k letu. Stanice navíc zajišťuje bezpečnou komunikaci mezi dronem a operátorem. Je také vybavena softwarem pro preventivní údržbu, takže je schopna detekovat jakékoli riziko selhání. [7]



Obrázek 6. Droneport od firmy Azur drones [7]

2.1.3.1. Zhodnocení varianty s ohledem na naše zadání

Tato stanice kombinuje obě předchozí řešení. Je zde použit podobný koncept otevírání stanice jako u řešení od společnosti Airobotics. U tohoto řešení je opět použita technologie bezdrátového nabíjení dronu. Velmi mě zaujalo uvažování nad manipulací se stanicí, kde většina společností používá manipulační oka, za která se přichytí řetězy a pomocí jeřábu se stanice přesune na přívěs za auto. Zde ovšem skrze stanici nechali otvory pro manipulaci, například pomocí vysokozdvížného vozíku. Toto řešení je velmi zajímavé, ale dle mého názoru se nedá využít při práci stanice v terénu.

2.1.4. Platforma od společnosti Atlas dynamics

Dokovací stanice Drone Nest se nepochybá žádně z předešlých. Je velmi propracovaná, jak designově, tak technicky. Je zde použito jednoduché otevírání stanice, kdy se boční panel pomocí pístu vyklopí a následně se vysune přistávací plošina pro dron. Pohyb vysunutí přistávací plošiny je realizovaný pomocí mechanismu s ozubeným hřebenem. Z dostupné dokumentace není moc zřejmé, jaké další pohyby se uskutečňují uvnitř stanice, ale je zde opět vidět použití určitého mechanismu pro výměnu baterie. Celá stanice je koncipovaná tak, že je možné ji připevnit na střechu vozidla, což dává velmi vysoké možnosti využití i pro hobby operátory dronů.



Obrázek 7. Výsuv dronu [25]



Obrázek 8. Otevírání hangáru [25]

2.1.4.1. Zhodnocení varianty s ohledem na naše zadání

Stanice má ze všech zde zmíněných dle mého názoru největší potenciál využití, jelikož je kompatibilní se střešními nosiči na vozidlech. Celý koncept je velmi propracovaný, ale přistávání dronu vedle stanice je pro nás nepřijatelné riziko. Náhlý poryv větru při přistávání může dron natlačit na stanici a pokud by se vrtule dotkly nějaké části stanice, pak by hrozilo riziko zničení dronu. Jsou zde použity zajímavé kapsy, které díky svému tvaru navedou dron při přistávání do přesné polohy určené pro výměnu baterie.

2.1.5. Výběr optimálního konceptu

Podle poznatků z vypracované rešerše a z hodnocení jednotlivých variant dokovacích stanic, by dle mého názoru bylo nejvhodnější použití konceptu společnosti Airobotic, jelikož splňuje téměř všechny zadané podmínky. Pro výměnu baterie by bylo použito robotické rameno, které zajistí výměnu baterie ve velmi krátkém čase, a tedy dron by byl téměř ihned připravený ke vzletu.

U otevírání a zavírání hangáru bychom chtěli spíše vybrat co nejjednodušší řešení, tedy přímočaré otevírání hangáru do strany, jak je tomu u řešení firmy Airobotic a Azur drones. Jak už jsem zmínil v bodě 2.1.2.1, tak použiji oddělený prostor mezi přistávací plošinou a částí pro výměnu baterie. Tím se zajistí minimální možnost vniku vody a nečistot do prostoru s akumulátory a minimalizuje se možnost jejich zničení.

Jelikož stanice bude poměrně rozměrná a hmotná, tak pro manipulaci bude vhodné použít montážní oka či třmeny a se stanicí manipulovat pomocí jeřábu. Manipulace pomocí jeřábu je vhodná i proto, že se stanice bude nacházet na jednom místě delší dobu, bude se jednat o měsíce, případně bude montována na dané místo nastálo, podle přání konkrétního zákazníka.

2.2. Využití dokovací stanice

Dokovací stanice může být použita v mnoha aplikacích. Jednou z velkých oblastí použití bude pravděpodobně hlídání různých průmyslových objektů. Dále by mohla být použita k monitorování kritických dopravních uzlů nebo k mapování a zeměměřičství. Dále je možné široké využití všemi bezpečnostními a záchrannými složkami.

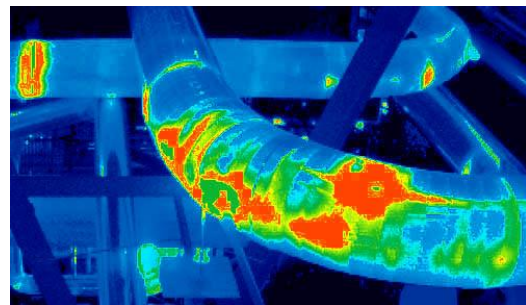
2.2.1. Inspekce průmyslových objektů

Stanice může zajistit daleko efektivnější monitorovací proces, který bude poskytovat podrobnější sledování a kontrolu.

Kontrolní proces zahrnuje využití dronu při pracích ve vysoké výšce, kde by se nahradilo použití lan, žebříku nebo plošin pro inspektory a mnohonásobně by se zvýšila bezpečnost takovýchto prací. Kromě riskantní práce pro inspektory vyžaduje tento proces také odstavení strojů, což může mít za následek významné finanční ztráty. Využití takového zařízení nám poskytne také mnohem lepší přehled o kritických částech různých objektů a samozřejmě mnohem rychlejší určení případných závad. Mezi takovéto provozy patří například kontrola elektráren (viz obrázek 9/10), chemických nebo výrobních závodů. [2]



Obrázek 9. Inspekce větrné elektrárny [3]



Obrázek 10. Kontrola úniku topného media [3]

2.2.2. Sledování dopravních komunikací

Optimalizace a kontrola silničních komunikací bude mít velký vliv na dopravu a kvalitu silnic. Drony mohou doplňovat tradiční techniky sběru dat. Díky dokonalému a účinnějšímu pokrytí širokých oblastí patří drony do vhodné varianty řešení těchto problémů.

Klíčem k výrazné změně v optimalizaci silniční dopravy je automatizace. Automatizované bezpilotní letouny mohou pomoci při navrhování silničních komunikací prostřednictvím vysoce kvalitních snímků a videí, která se dále budou zpracovat do digitálních 3D modelů, které pomohou při plánování a výstavbě silnic (viz obrázek 12). Drony mohou dále sloužit ke kontrole důležitých silničních tahů a mohou rychle detekovat změnu dopravní situace, například při nehodě. Drony umožní lepší reakci na vyskytnutý problém, přesměrování ostatních automobilů a tím i rychlejší obnovu dopravního tahu. [2]



Obrázek 11. Využití dronu u policie [4]



Obrázek 12. Kontrola pozemních prací [5]

2.2.3. Mapování a zeměměřičství

Průzkum a mapování prostředí je díky tomuto řešení časově nenáročný a snadný. Drony umožňují shromažďovat neomezená množství leteckých dat při přesných a náročných měřeních, přičemž šetří čas, peníze a pracovní sílu. Umožňují například měření objemu hromadných zásob materiálu, mapování terénu (viz obrázek 13/14) a další. Takovéto poměrně časově náročné úkoly zvládne operátor s dronem mnohem rychleji a efektivněji. Nehledě na to, že samotná dokumentace může být i přesnější.[2]



Obrázek 13. Letecké mapování krajiny [6]



Obrázek 14. 3D modelování snímku [6]

2.2.4. Přeprava zdravotního materiálu

V dnešní době se jedná stále o budoucnost, ale podobnými problémy se už začíná zabývat mnoho společností. Pokud by si takovouto dokovací stanici nechala nainstalovat například nemocnice, pak by se mohly drony využít pro přepravu krve mezi nimi, nebo pro přepravu důležitých orgánů například pro právě probíhající operace. Přeprava těchto materiálů by byla velmi rychlá, oproti nynější přepravě v automobilech, což by velmi pomohlo při záchraně životů. Díky takovýmto prostředkům by se zlepšila také práce záchranářů. Pokud by jim při zásahu chyběly důležité léky, které by pomohly zachránit život, pak by doručení pomocí dronu bylo velmi efektivní. Další možností použití by bylo monitorování pacientů nacházejících se v areálu nemocnice a kontrolování jejich stavu.



Obrázek 15. Lékařský dron [23]

2.2.5. Využití ve vojenském průmyslu

Stanice se dají použít na vojenských základnách, letištích a v dalších vojenských objektech. Cílem dronu by bylo především monitorování daného objektu a jeho hlídání. Drony by nahradily vojáky, kteří jsou při takovéto práci vystaveni riziku napadení ze strany nepřítele. Díky použití různých spektrálních kamer na dronech je možné detekovat hrozbu daleko dříve a z větší vzdálenosti od daného objektu. Dron takto dokáže pokrýt velkou oblast, která se kontroluje.

Dalším využitím v armádě je zavěšení pyrotechnického robota pod dron a jeho vysazení v oblasti, kde má pracovat. Takovýto robot se totiž mnohdy nedokáže dostat na vyvýšená místa, na kterých je potřeba například zneškodnit bombu.



Obrázek 16. Mapování terénu pro výsadek [26]



Obrázek 17. Testování dronu armádou [27]

3. Praktická část práce

V praktické části se pokusím rozebrat problematiku návrhu jednotlivých podsestav dokovací stanice, které jsem si rozdělil do okruhů podle pohybů. V první části rozeberu pohyb otevírání hangáru. Jednotlivé možnosti konstrukčního řešení, jejich výhody a nevýhody. Následně si podle zvolených kritérií vyberu nejlepší možnou variantu, kterou se budu dále zabývat. V další části budu psát o mechanismech použitelných pro výsuv přistávací plošiny. Obdobně jako v první části, jednotlivé konstrukční řešení okomentuji a následně vyberu variantu, kterou použiji v mém řešení. V poslední části rozeberu koncepci robotického ramena a efektoru (chapadla) pro výměnu akumulátoru dronu.

3.1. Chronologická analýza pohybů v dokovací stanici

Jednou z hlavních částí práce bude návrh pohybů, které budou potřeba k efektivní přepravě dronu po přistání a výměnu pohonných akumulátorů.

V první fázi, ještě před samotným přistáním dronu, se střecha hangáru dokovací stanice musí otevřít, aby umožnila dronu přistání na již vysunutou plošinu. V další fázi se celá plošina s ukotveným dronem spustí do dokovací stanice. Střecha hangáru se poté uzavře, aby se zabránilo vnikání cizích těles, například listů či větví, do vnitřního prostoru stanice. Následně se vysune robotické rameno s efektozem, které uchopí baterii a vysune ji z těla dronu. Vybitá baterie se následně nahradí nabitou a stejným pohybem se zasune zpět do těla dronu. Opět se otevře střecha hangáru, vysune se plošina s dronem a dron může odstartovat k plnění další či probíhající mise.

3.2. Návrh otevírání hangáru

Otevírání hangáru by mělo být velmi jednoduché, rychlé a spolehlivé. Mezi nejdůležitější kritérium pro výběr mechanismu patří rychlost otevírání a zavírání hangáru, jelikož chci co nejvíce zmenšit možnost vniku různých nečistot do vnitřního prostoru stanice. Na tomto kritériu také závisí rychlost nasazení dronu do určené mise. Jsou to sice pouhé vteřiny, ale i to v některých případech může hrát velkou roli.

3.2.1. Konstrukční varianty

Ideálem by dle mého názoru bylo použití mechanismu spojeného s pohybem vysouvání a zasouvání přistávací plošiny, kdy by se při současném pohybu plošiny nahoru hangár otevíral a naopak. U této varianty by bylo však velmi obtížné docílit správné kinematiky mechanismu. Mohlo by totiž docházet ke kolizím dronu se střechou hangáru. Abychom se tomuto problému vyhnuli, pak by se stanice musela ještě zvětšit, což je nežádoucí.

Z dostupných variant je nejvíce používané řešení otevírání pomocí pohybového šroubu, kdy matice je pevná a šroub se otáčí. Celý mechanismus je zároveň připevněn na střechu stanice a spolu s ní se pohybuje. Další možností je použití ozubeného hřebenu a pastorku,

který se velmi osvědčil u mechanismů pro otevírání bran, jelikož tento mechanismus není tak náchylný na nečistoty. Mezi další varianty by mohlo patřit použití rolovací rolety. V dnešní době se velmi rozšiřují lineární osy, buďto s pohybovým šroubem, nebo s nekonečným řemenem, které by se také daly aplikovat na náš problém.

3.2.1.1. Otevírání pomocí pohybového šroubu

Pohybový šroub slouží k přenosu otáčivého pohybu na pohyb přímočarý a zároveň převod točivého momentu na sílu působící v ose šroubu (svěráky, šroubové lisy, šroubové zvedáky, suporty u obráběcích strojů). Pro snížení tření se používají vícechodé lichoběžníkové závity, které ovšem už nejsou samosvorné. Typickým příkladem použití trapézových šroubů jsou zvedáky automobilů, jelikož dokážou snášet velká zatížení. [8]

Další možností je použití kuličkových šroubů, díky kterým dochází ve styku šroubu s maticí k menšímu tření. Šroubový pohon je snadný mechanický způsob pro omezené lineární posuvy. Největší nevýhodou je právě omezená délka a rychlost posuvu díky vibracím v mechanismu. [9]

Konstrukce pohonu s pohybovým šroubem

Šroub se otáčí a matice se pohybuje ve směru osy (axiálně) a unáší s sebou i střechu hangáru, která je s maticí pevně spojen (viz obrázek 18). [8]



Obrázek 18. Pohled na otevírání střechy [7]



Obrázek 19. Uspořádání pohybového šroubu [9]

3.2.1.2. Otevírání pomocí ozubeného hřebenu a pastorku

Jedná se o přeměnu rotačního pohybu pastorku na posuvný pohyb hřebenu a naopak. Nespornou výhodou je, že lze zároveň pohybovat několika pastorky po jednom hřebenu, což umožňuje pohyb v různých směrech současně, nebo lze pohybovat dvěma pastorky současně stejným směrem s výslednou dvojnásobnou silou. Pastorek je nejčastěji připevněn k převodovce, která zvyšuje točivý moment a redukuje rychlost. Nejčastějšími aplikacemi jsou pohony posuvných bran (viz obrázek 21) nebo portálové CNC stroje. [9]

Konstrukce pohonu s ozubeným hřebenem

Přesné ozubené kolo (pastorek) se pohybuje vpřed i vzad po ozubeném hřebenu, což je ve skutečnosti rozvinuté ozubené kolo. Ozubené hřebeny nejčastěji vyrábějí v délkách od 500 mm do 2000 mm (viz obrázek 20) a lze je navzájem napojovat do libovolných délek a v případě správné montáže neklesá ani přesnost mechanismu. [9]

Dalším velmi častým uspořádáním tohoto mechanismu, je použití statického pastorku a po něm se pohybujícího ozubeného hřebenu.



Obrázek 20. Ozubený hřeben s pastorkem [9]



Obrázek 21. Koncepce Posuvné brány [10]

3.2.1.3. Otevírání pomocí rolovací rolety

Tato technologie se nejvíce využívá pro otevírání a zavírání garážových vrat (viz obrázek 21) nebo jako krycí technika proti světlu a povětrnostním vlivům v pergolách. Tato technologie by se samozřejmě dala aplikovat i na náš případ, pokud by se použily hliníkové lamely s těsnícími prvky v jejich přechodech (mezi lamelami). Velkou výhodou u této varianty je, že se lamely vyrábí podle zákazníka například už s izolací či opatřené povrchovou úpravou a celá koncepce je velmi variabilní. Je tedy možné tento způsob využít i v horších podmínkách.

Konstrukce pohonu s rolovací roletou

Pohyb tohoto mechanismu spočívá v navíjení rolety na hnaný hřídel, jež je umístěn v krycím boxu (viz obrázek 22), nebo pomocí odvádění rolety po kolejnici do volného prostoru. Zpětný pohyb je ve většině případů zajištěn pomocí tažných pružin, a tedy při navíjení se zároveň musí překonávat tažná síla od pružin.



Obrázek 22. Uspořádání rolovací rolety [11]



Obrázek 23. Výsuvná garážová vrata [12]

3.2.1.4. Použití lineární osy s nekonečným řemenem

Lineární osy umožňují pohyb v přímočarém směru. Tyto produkty se používají převážně pro automatizaci různých výrobních linek či polohovacích zařízení. Velkou výhodou, je že většina lineárních os je už osazena koncovými snímači polohy, které je možné přestavět do požadované polohy. [24]

Dalším benefitem jsou vysoké rychlosti polohování, jelikož je rychlost posuvu dána obvodovou rychlostí řemenice a ta bývá na přímo spojena s motorem. Nevýhodou bude umístění řemenu mimo stanici a bude tedy vystavený okolním vlivům. Řemen by časem mohl zpuchřet, zkřehnout a následkem toho prasknout.

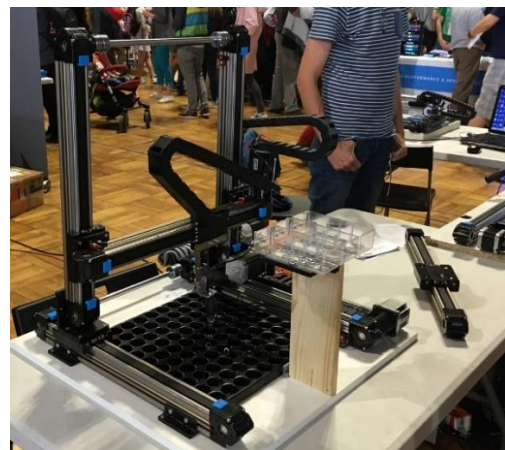
Lineární osy mají velmi dobrou modularitu. Je zde možnost spojovat několik lineárních os dohromady a tím docílit více pohybů na menším prostoru. (viz obrázek 25)

Konstrukce lineární osy s nekonečným řemenem

Lineární osy se skládají ze dvou řemenic, mezi kterými je napnutý řemen. (viz obrázek 24) K řemenu je připevněný vozíček, který je vedený po kolejnici nacházející se podél řemenu. Pohyb je realizován otáčením jedné z řemenic, ke které je připevněný motor. Rotace řemenice uvádí do pohybu řemen s vozíčkem.



Obrázek 24. Lineární osa s příslušenstvím [24]



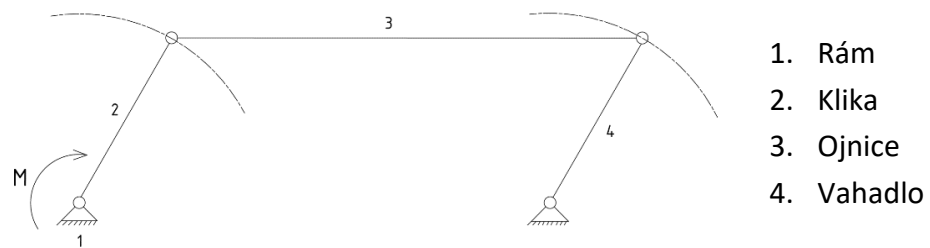
Obrázek 25. Vyžití osy u malé frézky [24]

3.2.1.5. Otevírání pomocí kloubového mechanismu

Kloubový mechanismus slouží k přenosu rotačního pohybu, dále ke změně rotačního pohybu na pohyb kyvný nebo na pohyb obecný. Kloubový mechanismus může mít více členů. Nejčastěji se používá čtyřkloubový mechanismus, který je velice dobře uplatnitelný i pro naše zadání. (viz obrázek 2.) [13]

Konstrukce čtyřkloubového mechanismu

Hnací člen bývá u čtyřkloubových mechanismů nejčastěji klika, která koná rotační pohyb a je uložena v ložiskách v rámu stroje. Rotační pohyb kliky je přenášen pomocí ojnice na vahadlo. Je-li poloměr kliky stejný jako poloměr vahadla, pak obě konají stejný rotační pohyb. Takovéto uspořádání způsobuje, že ojnice koná rovinný pohyb posuvný (viz obrázek 26). [13]



Obrázek 26. Náčrt čtyřkloubového mechanismu [Vlastní zdroj]

3.2.2. Zhodnocení dostupných variant otevírání hangáru a výběr řešení

V následující tabulce jsou obodovány jednotlivé varianty řešení. Za každé kritérium jsem udělil počet bodů 1 až 5, kdy 5 bodů je nejlepší ohodnocení. Tabulku jsem nechal obodovat odborníky ze společnosti NST HK, která se zaměřuje na výrobu jednoúčelových strojů. Jednotlivá hodnocení jsem zprůměroval a sestavil tuto tabulku.

Tabulka 1. Hodnocení jednotlivých variant otevírání hangáru

Kritérium	Pohybový šroub	Ozubený hřeben	Rolovací roleta	Kloubový mechanismus	Lineární osa s řemenem
Rychlost	3	5	5	4	5
Přesnost	5	4	3	4	5
Zrychlení	2	4	3	3	5
Síla (Únosnost)	5	5	1	3	3
Délka posuvu	1	5	5	1	3
Životnost	2	4	3	4	2
Náchylnost na nečistoty	2	4	3	5	3
Utěsnění	3	3	4	4	3
Cena	3	4	2	5	2
Montáž	3	4	2	1	3
Σ	29	42	31	34	34

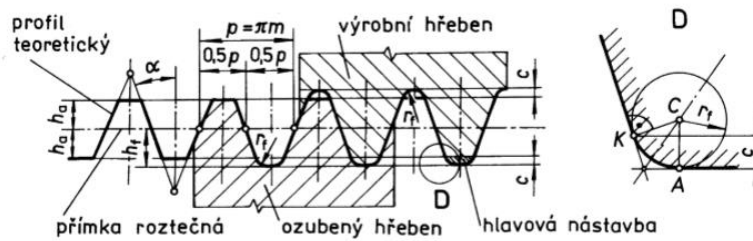
Z tabulky pro hodnocení variant dle zvolených kritérií dostal nejvíce bodů mechanismus otevírání pomocí ozubeného hřebenu a pastorku. Z toho důvodu jsem se ho rozhodl použít a v další části se jím budu zabývat.

3.2.3. Návrh mechanismu pro otevírání hangáru pomocí ozubeného hřebenu a pastorku

Tato varianta má bezesporu mnoho výhod, proto jsem se ji rozhodl použít v mém konceptu. Jednou z hlavních předností tohoto mechanismu je rychlost posuvu, což je pro rychlost výměny akumulátoru klíčové. Chtěl bych minimalizovat dobu, kterou bude trvat přistávání dronu na plošině a jeho následné uzavření v dokovací stanici. Významnou výhodou je pro mě menší náchylnost mechanismu na nečistoty. Celá konstrukce se bude nacházet v přírodě, a i přes opatření, jako například vykácení plochy kolem plošiny, pokud by měla být použita na takovýchto místech, stále zde bude možnost uvíznutí nečistot na mechanismu. Následným používáním by se celý mechanismus mohl poškodit a bylo by nutno provést servis a opravu zařízení. Jedná se i o poměrně levné řešení, jelikož technologie výroby ozubení je známá už velmi dlouho a je velice propracovaná.

3.2.3.1. Rozbor zvolené varianty

Ozubený hřeben je část čelního ozubeného kola, jehož průměr roztečné plochy a ostatních souosých ploch je nekonečný. Odpovídajícím rovinným útvarem je profil ozubeného hřebene, u něhož evolventní profily přecházejí v přímky. Počet zubů neovlivňuje geometrii a tvar boku zubů, a tedy nemáme omezení v jeho délce. [14]



Obrázek 27. Základní profil ozubeného hřebene [15]

Geometrický základ tohoto profilu (viz obrázek 27) tvoří tzv. profil teoretický, stejnoměrně rozložený okolo roztečné přímky. Tloušťky zubů a šířky mezer na roztečné přímce jsou stejné tj. $s = e = 0,5 \cdot p$. Sklon boků zubů je dán úhlem profilu α , který je normalizovaný $\alpha = 20^\circ$. Hlavová přímka ozubeného hřebene souhlasí s hlavovou přímkou teoretickou, patní přímka je posunuta o hodnotu c tzv. radiální vůle. Výška paty h_f je pak o c větší než výška hlavy h_a . Všechny délkové veličiny se vyjadřují jako určitý násobek modulu m . [15]

$$p = \pi \cdot m \quad (1)$$

$$h_a = h_a^* \cdot m \quad (2)$$

$$h_f = h_f^* \cdot m \quad (3)$$

$$c = c^* \cdot m \quad (4)$$

$$r_f = r_f^* \cdot m \quad (5)$$

Příslušně součinitele použité ve vzorcích mají dle ČSN tyto hodnoty:

Součinitel výšky hlavy zubu	$h_a^* = 1$
Součinitel radiální vůle	$c^* = 0,25$
Součinitel výšky paty zubu	$h_f^* = h_a^* + c^* = 1,25$
Součinitel poloměru ozubení	$r_f^* = 0,38$

[15]

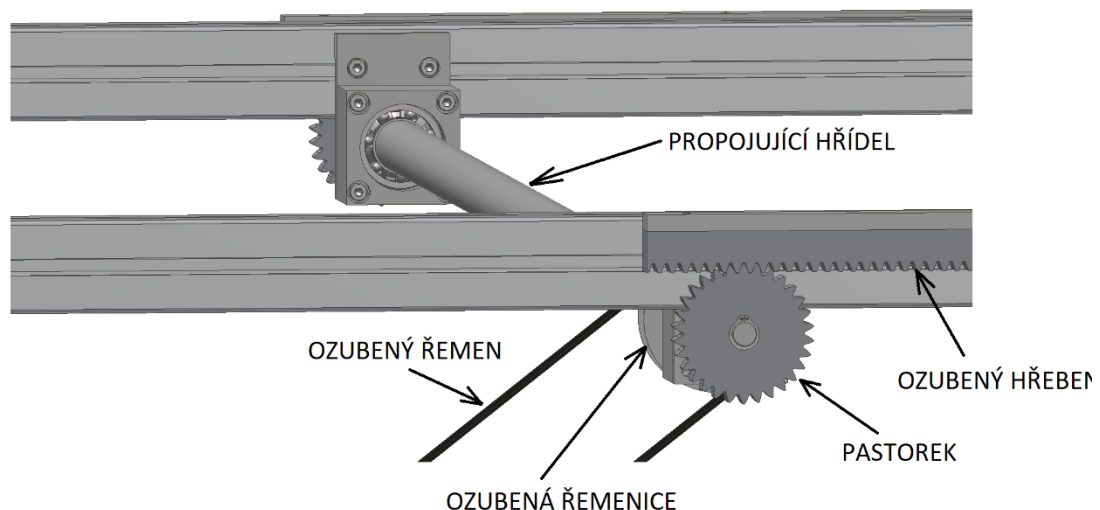
Ozubení hřebenu může být s přímými zuby nebo šikmými zuby, speciálním případem jsou šnekové hřebeny. Přímé ozubení je nejjednodušší a nejlevnější. Na druhou stranu přechod ze záběru jednoho zubu na druhý není hladký a dochází při něm k rázům a zvýšené hluchnosti. Proto se častěji používá ozubených kol se šikmým ozubením, kde přechody mezi zuby jsou plynulejší, tedy jsou tišší a mají pravidelnější chod. Jejich nevýhodou je vyšší složitost na výrobu, která se promítne také v ceně výrobku. U šikmého ozubení vznikají nevhodné axiální síly, které následně namáhají ložiska. Speciálním případem šikmého ozubení je šípové ozubení, kterým se eliminují axiální síly, ale výroba tohoto druhu ozubení je velmi specifická a složitá. [14]

Poslední možností je použití šroubového soukolí. Tato varianta disponuje vysokým převodovým poměrem, ale pro naše řešení je neuplatnitelná, jelikož síly působící na mechanismus jsou poměrně malé.

3.2.3.2. Zadané hodnoty pro návrhový výpočet

Vycházím z předem daného požadavku na použití pohonu od společnosti Siemens. Jedná se o servomotor 1FL6032-2AF21-1MA1 s absolutním snímačem polohy, aby nebylo nutné používat referenční polohy střechy hangáru. Pojezdy do referenčních poloh, při případném odpojení stanice od zdroje napájení a následném spuštění, by mohly způsobit nežádoucí pootevření hangáru. Jednou z možností by bylo použití pohonu pouze na jedné straně stanice, ale rozhodl jsem se použít pohon na obou stranách z důvodu menšího namáhání ložisek. Při použití ozubeného hřebenu po obou stranách stanice bych chtěl pohyb sjednotit. Tedy připojit oba pastorky, vyvozující pohyb ozubeného hřebenu, na jeden hnaný hřídel. (viz obrázek 28) Tím by se zajistil souběžný posuv obou hřebenu a nebylo by nutné synchronizovat jednotlivé pohony pro každou stranu. Pokud by byl použit pohon pouze na jedné straně, pak by pravděpodobně docházelo ke křížení mechanismu a tím i k jeho poškození. Aby bylo možné zajistit přesnou polohu motoru, umístěného na podstavě stanice, rozhodl jsem se použít řemenový převod s převodovým poměrem $i = 1$, mezi hnanou hřídelí motoru a hnací hřídelí pastorku.

Jelikož jsem se rozhodl pro přímé ozubení, které je při chodu poměrně hlučné, zvolil jsem pro pastorek i ozubený hřeben plastový materiál (POM), díky kterému se sníží hlučnost mechanismu.



Obrázek 28. Koncept otevírání střechy hangáru [Vlastní zdroj]

Pohon disponuje těmito hlavními parametry:

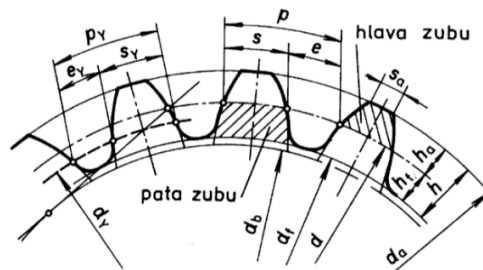
Maximální otáčky motoru	$n_m = 3000 \text{ ot/min}$
Krouticí moment	$M_k = 0,64 \text{ Nm}$
Výkon	$P_m = 0,2 \text{ kW}$

Na mechanismus působí převážně krouticí moment od motoru, který mechanismus uvádí do pohybu. Odpor proti pohybu může tvořit tření mezi vodítky a odpor prostředí, jestliže fouká vítr (viz příloha 3). Zvolil jsem si pastorek s ozubeným hřebenem, na který následně aplikuji kontrolní výpočet pomocí programu Kisssoft.

Navrhuji použít pastorek od společnosti HABERKORN, kde z katalogového listu pro čelní ozubená kola volím ozubené kolo 556092. Jedná se o ozubené kolo z materiálu POM.

Parametry pastorku:

- Modul $m = 2$
- Počet zubů $z_p = 30$
- Šířka pastorku $b_p = 16 \text{ mm}$
- Úhel záběru $\alpha = 20^\circ$



Obrázek 29. Základní rozměry pastorku [15]

$$d = m \cdot z \quad (6)$$

$$d_b = d \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

$$d_a = d + 2 \cdot h_a^* \cdot m \quad (8)$$

$$d_f = d - 2 \cdot (h_a^* + c^*) \cdot m \quad (9)$$

$$s = e = 0,5 \cdot \pi \cdot m \quad (10)$$

Výpočet základních rozměrů pastorku (viz Obrázek 17.)

Průměr roztečné kružnice	$d = m \cdot z = 30 \cdot 2 = 60 \text{ mm}$
Průměr základní kružnice	$d_b = d \cdot \cos \alpha = 60 \cdot \cos 20^\circ = 56,38 \text{ mm}$
Průměr hlavové kružnice	$d_a = d + 2 \cdot h_a^* \cdot m = 60 + 2 \cdot 1 \cdot 2 = 64 \text{ mm}$

Průměr patní kružnice	$d_f = d - 2 \cdot (h_a^* + c^*) \cdot m = 60 - 2 \cdot (1 + 0,25) \cdot 2 = 55 \text{ mm}$
2 = 55 mm	
Tloušťka zubu	$s = 0,5 \cdot \pi \cdot m = 0,5 \cdot \pi \cdot 2 = 3,14 \text{ mm}$
Šířka zubové mezery	$e = 0,5 \cdot \pi \cdot m = 0,5 \cdot \pi \cdot 2 = 3,14 \text{ mm}$
Výška hlavy zubu	$h_a = h_a^* \cdot m = 1 \cdot m = 2 \text{ mm}$
Výška paty zubu	$h_f = h_f^* \cdot m = 1,25 \cdot 2 = 2,5 \text{ mm}$

Stejně jako u pastorku volím samotný ozubený hřeben od společnosti HABERKORN, kde z příslušného katalogového listu volím hřeben 556253. Ozubený hřeben je vyroben opět z POM a disponuje těmito parametry.

Parametry ozubeného hřebenu:

- Modul $m = 2$
- Počet zubů $z_h = \infty$
- Úhel záběru $\alpha = 20^\circ$
- Šířka hřebenu $b_h = 20 \text{ mm}$
- Výška hřebenu $h = 20 \text{ mm}$
- Délka hřebenu $l_h^* = 1000 \text{ mm}$ (tato délka nám nestačí pro výsuv hangáru, ale právě obrovskou výhodou ozubených hřebenů je možnost montáže za sebe a tím dosáhnout libovolných délek. Požadujeme délku hřebenu $l_h = 1850 \text{ mm}$. Délka hřebenu musí být větší, než je samotný posuv.)

Výpočet základních rozměrů ozubeného hřebene (viz Obrázek 26.)

Rozteč zubů	$p = \pi \cdot m = \pi \cdot 2 = 6,28 \text{ mm}$
Výška hlavy zubu	$h_a = h_a^* \cdot m = 1 \cdot m = 2 \text{ mm}$
Výška paty zubu	$h_f = h_f^* \cdot m = 1,25 \cdot 2 = 2,5 \text{ mm}$
Radiální vůle	$c = c^* \cdot m = 0,25 \cdot 2 = 0,5 \text{ mm}$
Poloměr paty zubu	$r_f = r_f^* \cdot m = 0,38 \cdot 2 = 0,76 \text{ mm}$

3.2.3.3. Výpočet kinematických poměrů

Jako převod mezi motorem a hnanou hřídelí pastorku použiji ozubený řemen převodovým poměrem $i = 1$, který zajistí přenos kroutícího momentu z hnaného hřídele motoru na hnací hřídel pastorku. Přenos kroutícího momentu ze hnané hřídele na pastorek bude realizovaný pomocí těsného pera. Požaduji, aby se hangár za čas $t_{max} = 5 \text{ s}$ a výsuv střechy $l_s = 1700 \text{ mm}$.

Rychlost hřebenu

$$v_h = \frac{l_s}{t_{max}} = \frac{1,7}{5} = 0,34 \text{ m/s} \quad (11)$$

Minimální otáčky pastorku

$$v_h = \frac{d}{2} \cdot \omega_{min} \rightarrow \omega_{min} = \frac{2 \cdot v_h}{d} \quad (12)$$

$$\omega_{min} = 2 \cdot \pi \cdot n_{min} \rightarrow n_{min} = \frac{\omega_{min}}{2 \cdot \pi} = \frac{2 \cdot v_h}{2 \cdot \pi \cdot d} = \frac{2 \cdot 0,34}{2 \cdot \pi \cdot 0,060} = 17,8 \text{ ot/s} \quad (13)$$

$$= 1068,14 \text{ ot/min}$$

Kroutící moment při nových otáčkách

$$P_m = M_k \cdot \omega \rightarrow M_k = \frac{P_m}{\omega_{min}} = \frac{200}{2 \cdot \pi \cdot 17,8} = 1,79 \text{ Nm} \quad (14)$$

3.2.3.4. Kontrolní výpočet ozubení

Kontrolní výpočet jsem provedl v programu KissSoft, kde jsem použil funkci pro výpočet ozubeného hřebenu. Zvolil jsem si materiál odpovídající materiálu POM a zadal všechny potřebné hodnoty pro výpočet. Ve výpočtu jsem musel také zohlednit teplotu, při které bude mechanismus pracovat. Jelikož vlastnosti plastových materiálů jsou velmi závislé na teplotě a s rostoucí teplotou se jejich mechanické vlastnosti zhoršují, proto jsem výpočet provedl pro předpokládanou maximální teplotu $T_{max} = 50 \text{ °C}$. Ta přibližně odpovídá teplotě, kdy je stanice ustavena na přímém slunci.

Dále jsem zadával dobu, po kterou bude mechanismus pracovat. Na této hodnotě velmi závisí bezpečnost proti opotřebením. Vzhledem k taktovému pohybu, s jakou se střecha hangáru pohybuje, jsem zvolil dobu, po kterou mechanismus bude pracovat bez servisu $t_s = 500 \text{ h}$. Výpočet proběhl dle normy VDI 2545 (Method C). Tato norma se používá právě pro výpočet a hodnocení pevnosti plastových ozubených kol, zatímco norma ČSN 01 4686 se používá pro hodnocení ocelových ozubených kol.

Tabulka 2. Výstupní hodnoty bezpečností z programu KissSoft

	Pastorek	Ozubený hřeben
Bezpečnost zubů v ohybu S_F ($S_{Fmin} = 1,4$)	9,97	14,52
Bezpečnost boku zubů v dotyku S_H ($S_{Hmin} = 1$)	1,56	2,45
Bezpečnost proti opotřebením S_W ($S_{Wmin} = 1,1$)	4,82	22,6
Bezpečnost proti deformaci zubů S_{del} ($S_{delmin} = 1$)	7,16	

Všechny bezpečnostní součinitelé jsou větší, než minimální a je tedy možné tento ozubený hřeben s pastorkem použít. V příloze 2 je obsažený celý výpočet pomocí programu KissSoft.

3.3. Návrh zvedání přistávací plošiny

Jedná se o zařízení, která nám umožní zvedání břemen od různých materiálu, až po osoby. Toto zařízení nám umožní zvedání ve svislém směru, jak s malými zdvihy, tak se zdvihy až několik metrů. Velké zdvihy mohou být realizovány pomocí skládání různých mechanismů nad sebe. Příkladem je zdvižná plošina, která nám umožní dopravu osob do velikých výšek a zajistí stabilitu pro obsluhu na plošině.

Jedním z hlavních požadavků na zdvihací plošinu je zajištění vodorovné plochy bez jakýchkoli částí zdvihacího mechanismu, které by vystupovaly například na okrajích plošiny. Je to z důvodu bezproblémového přistávání dronu na plošině. Při přistávání dronu na plošině by mohlo dojít k neočekávanému poryvu větru a dron by se o takovéto vystupující prvky mohl zachytit, což by vedlo k havárii dronu. Cílem tedy bude navrhnout statickou zvedací plošinu, která by zajistila tyto požadavky.

3.3.1. Zvedání pomocí nůžkového mechanismu

Mezi nejrozšířenější zdvihací plošiny patří bezpochyby nůžkové plošiny. Tyto plošiny využívají nůžkový mechanismus pro zdvihání břemen do různých výšek, což je dáno samotnou konstrukcí a geometrií nůžkového mechanismu. Využívá se také pro bezbariérový přístup do budov, nebo pro výtahy s menším zdvihem. Jeho výhodou je nenáročná údržba, vysoká spolehlivost a poměrně malé rozměry. Pro pohon, který zajistí zdvih plošiny, se dá využít hydraulický či pneumatický válec, elektromotor. Pro pohyblivé plošiny to může být i spalovací motor.

Konstrukce nůžkového mechanismu

Nůžkový mechanismus se skládá ze dvou rotačně uložených rámců, v kterých jsou jednotlivé části mechanismu spojeny čepy. Mechanismus je spojen se spodním rámem a plošinou na dvou místech rotační vazbou s ložisky. Na protější straně se nachází vozíčky, které jsou rotačně spojeny s rameny nůžkového mechanismu. Tyto vozíčky pojíždějí v kolejničích, které jsou pevně spojeny s rámem. Pohyb přistávací plošiny směrem nahoru je způsoben svíráním nůžkového mechanismu a naopak. [17]

Jedná se o ideální řešení, kterého se drží většina společností, zabývajících se dokovacími stanicemi pro drony. Hlavním aspektem, proč se používá tento mechanismus, je jeho nenáročnost na výrobu, bezporuchovost díky minimálnímu počtu součástí a možnost začlenění různých pohonů pro realizaci svislého pohybu. Pro zdvihání těžkých břemen se používá jako silový element hydraulický válec (viz Obrázek 30/31), dalšími

možnostmi pro zdvihání lehčích břemen je použití ozubeného hřebenu a pastorku na jednom z rámů či použití šroubového mechanismu.



Obrázek 30. Hydraulický Nůžkový zvedák [21]



Obrázek 31. Nůžkový zvedák s břemenem [21]

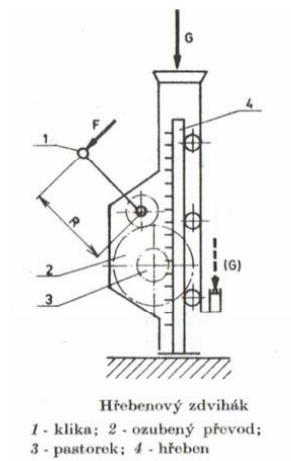
3.3.2. Hřebenový zvedák

Hřebenový zvedák se nejčastěji používá v opravárenství. Je totiž velmi kompaktní a díky tomu jednoduše přemístitelný. Při velmi malé vstupní síle vyvinuté člověkem, dokáže vyvodit velkou zdvihací sílu. Z tohoto důvodu se zde využívá několikanásobný převod, aby zdvihání nebylo pro obsluhu příliš náročné.

Konstrukce hřebenového zvedáku

Ozubený hřeben je uložen v plechové skříni, zabraňující možnosti úrazu obsluhy od točících se ozubených kol. Hnací síla pohonu je převáděna ozubeným převodem na pastorek a z něho na ozubený hřeben. (viz obrázek 32/33) Břemeno se v různých polohách může zajišťovat rohatkou se západkou, pokud se bude jednat o ruční pohon. [16]

Tento typ pro náš případ není příliš vhodné využít, jelikož se jedná o poněkud složitý, a ne příliš přesný zvedací mechanismus a při rozměrech přistávací platformy by bylo nutné použít vodící lišty po stranách platformy. Při použití například elektromotoru jako pohonu se musí za převodovku vložit ještě stavěcí brzda, nebo se mechanismus opatří zdrží. Po vypnutí pohonu by totiž docházelo k samovolnému sjíždění přistávací plošiny s dronem směrem dolů.



Obrázek 32. Hřebenový zvedák-schéma [16]



Obrázek 33. Hřebenový zvedák [18]

3.3.3. Šroubový zvedák

Šroubové zvedáky mají malou účinnost, přibližně 30 až 40 %. Poměr síly na rukojeti k tíze břemene je u šroubových zvedáků menší než u hřebenových, to znamená, že šroubovým zvedákem lze stejnou silou zdvihnout těžší břemeno. Používají se pro zdvihání břemen o hmotnosti až 35 tun, do výšky pouze 300 mm. [16]

Konstrukce šroubového zvedáku

Šroubový zvedák je tvořen pohybovým šroubem a maticí a slouží k přeměně točivého pohybu na pohyb posuvný a naopak. (viz obrázek 34) U takovýchto případů, kdy síla působí v ose šroubu pouze v jednom směru, se používá lichoběžníkový závit nerovnoramenný. Takovýto závit má ve směru působící síly násobně větší únosnost než ve směru opačném. Další výhodou použití lichoběžníkového nerovnoramenného závitu je samosvornost, která je dána geometrií závitu.



Obrázek 34. Šroubový zvedák [19]

3.3.4. Hydraulický zvedák

Používají se pro zdvihání nejtěžších břemen. U tohoto typu zvedáků se využívá Pascalův zákon $p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$. Z této rovnice vyplývá, že pokud na píst o malém průměru působíme malou silou, to vyvolá velkou sílu na pístu o velkém průměru. Ovšem zdvih velkého pístu bude malý oproti zdvihu malého pístu. Z tohoto důvodu ho nelze využít při zdvihání břemen do velikých výšek. Jednou z možností navýšení zdvihu je použití teleskopického pístu, který je možno vidět na nákladních autech se sklápěcím návěsem. (viz obrázek 35) Ovšem použití takového pístu se projeví v ceně výrobku, jelikož jednotlivé části pístu jsou vyrobeny s velkou přesností a klade se obrovský důraz také na drsnost povrchu.

Konstrukce hydraulického zvedáku

Hydraulický zvedák je tvořen dvěma písty, nádrží s hydraulickou kapalinou, čerpadlem pro vyvození potřebného tlaku kapaliny na malý píst a řadou ventilů. Kapalina je vytlačována kýváním páky přes výtlačný ventil (viz obrázek 36) pod píst o velkém průměru, přičemž je nádrž kapaliny uzavřena sacím ventilem. Spouštění břemene se provádí otevřením přepouštěcího ventilu. Velikost otevření přepouštěcího ventilu určuje rychlost spouštění. [16]



Obrázek 35. Výklopný návěs [22]



Obrázek 36. Hydraulický zvedák [20]

3.3.5. Zhodnocení dostupných variant realizace výsuvu plošiny a výběr řešení

V následující tabulce jsou opět obodovány jednotlivé varianty řešení. Za každé kritérium jsem udělal počet bodů 1 až 5, kdy 5 bodů je nejlepší ohodnocení. Stejně jako při hodnocení variant otevírání hangáru je následující tabulka obodována specialisty ze společnosti NST.HK. Z jejich subjektivního názoru jsem udělal průměrné bodování.

Tabulka 3. Hodnocení jednotlivých variant zdvihání plošiny

Kritérium	Nůžkový mechanismus	Hřebenový zvedák	Šroubový zvedák	Hydraulický zvedák
Rychlost výsuvu	3	5	3	1
Přesnost	4	3	4	5
Síla (Únosnost)	3	4	3	5
Životnost	4	5	3	3
Jednoduchost	5	3	4	2
Náchylnost na nečistoty	4	5	4	2
Hmotnost mechanismu	3	3	4	2
Cena	4	3	4	1
Montáž	4	2	4	1
Σ	34	33	33	22
Zásah do plošiny	NE	ANO	ANO	NE

Nůžkový mechanismus, hřebenový zvedák i šroubový zvedák dostali bodovací metodou obdobné hodnocení. Proto jsme museli přidat další kritérium. Tímto kritériem je, zdali nám daný mechanismus bude zasahovat do přistávací plošiny či nikoli. Pro naši přistávací plošinu je nejvhodnější použít mechanismus, který bude celý schovaný pod ní. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl použít právě nůžkový mechanismus.

3.3.6. Návrh konstrukční řešení plošiny s využitím nůžkového mechanismu

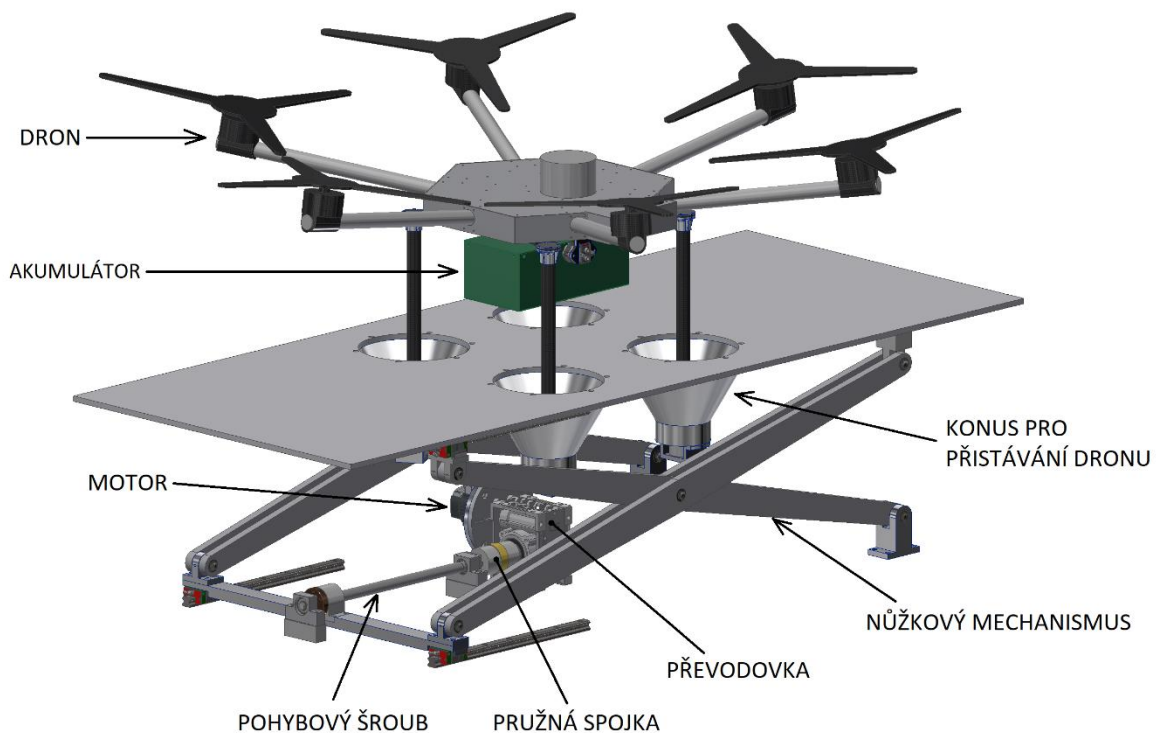
Pro toto konstrukční řešení jsem se rozhodl z důvodu jeho jednoduchosti, nenáročné údržby, vysoké spolehlivosti, možnosti využití různých prostředků pro realizaci pohybu a využití tohoto mechanismu i u dokovacích stanic od jiných výrobců. Dalším důvodem je zachování rovinné přistávací plošiny, kdy se všechny díly nůžkového mechanismu nacházejí pod plošinou. Toto byl jeden ze stěžejních požadavků od společnosti Agentfly, která se zabývá výrobou prototypu dronu. Důvodem je přistávání dronu pomocí přistávací kamery, která bude snímat obrazec na přistávací plošině a díky tomu navede dron s určitou přesností na místo, kde má přistát. Další výhodou umístění všech součástí pod přistávací plošinou je, že nehrozí riziko kolize dronu s nějakou částí mechanismu při jeho navádění na přistávání a snižuje se možnost vletu nečistot do hlavních částí mechanismu. Díky tomu částečně ochráníme ložiska a pohybový šroub, který bude realizovat svislý pohyb nůžkového mechanismu.

3.3.7. Rozbor zvolené varianty

Nůžkový mechanismus se skládá z pevné podstavy, ke které bude celý mechanismus připevněn. Dále ze čtyř ramen, která jsou na jednom konci rotačně uložena v ložiskách a na konci druhém rotačně uložena na vozíčku. Vozíček se pohybuje po kolejnici, což nám

zprostředkuje požadovaný pohyb. Jednotlivé části jsou spojeny čepy, které jsou zajištěny pojistnými podložkami. Pohyb bude realizován pomocí pohybového šroubu. Šroub bude připevněn k podstavě a matice k části s posuvnými vozíčky.

Pro samotný návrh jsem vycházel z rozměrů dronu, kdy zdvih je dán jeho výškou tak, aby se vešel bez problémů do hangáru. Ostatní rozměry plošiny, obdobně jako její zdvih, také vychází z rozměrů dronu. Uspořádání pohybového šroubu jsem volil tak, aby šroub nebyl namáhaný na vzpěr, a tedy radiálně axiální ložisko jsem umístil napravo od matice. (viz obrázek 37) Takovému uspořádání mi zajistí, že pohybový šroub bude namáhaný pouze na tah a krut.



Obrázek 37. Konceptní návrh nůžkového mechanismu

3.3.7.1. Zadané hodnoty pro návrhový výpočet

Opět zde narážíme na problém, že chceme minimalizovat šanci vletu nečistot do vnitřního prostoru stanice. Tedy chceme, aby se po přistání dronu stanice co nejrychleji uzavřela. To nezávisí pouze na rychlosti zavírání hangáru, ale právě i na rychlosti spouštění samotné plošiny. Aby se střecha hangáru mohla začít zavírat, musí se dron nacházet již uvnitř stanice. Z tohoto důvodu volím čas, za jak dlouho musí dojít k zasunutí/vysunutí plošiny $t_{\max} = 10$ s. Opět bude použit servomotor s absolutním snímačem polohy. Absolutní snímač je zde proto, aby nebylo nutné používat referenční polohy zasunuté a vysunuté plošiny. Pokud by byl dron uvnitř a došlo by k výpadku energie, tak po opětovném zapnutí dodávky energie do stanice, by plošina musela najet do referenční polohy. Mohlo by dojít k nežádoucímu vysouvání plošiny s dronem uvnitř a s ohledem na zavřenou střechu

hangáru by došlo k nenávratnému poškození jak dronu, tak mechanismu zdvihání plošiny i výsuvu střechy hangáru.

Rozměry plošiny

Rozměry jsem se snažil co nejvíce zmenšit, abych mohl využít i prostor po stranách plošiny, kam se následně umístí rozvaděč pro elektroniku a zmenší se díky tomu i výsuv ramene pro výměnu baterie. Díky tomu bude rameno méně namáháno ohybovým momentem.

Rozměry horní desky jsem navrhl na 1700x700x10 (ŠxHxT). Jako materiál desky bude použita hliníková slitina 5083 (AlMg4,5Mn0,7). Její hmotnost vypočítáme ze vztahu:

$$m_d = V \cdot \rho_{Al} = \text{Š} \cdot \text{H} \cdot \text{T} \cdot \rho_{Al} = 1,7 \cdot 0,7 \cdot 0,01 \cdot 2700 = 32 \text{ kg} \quad (15)$$

Další důležité parametry pro výpočet:

- Hmotnost dronu (včetně baterie) $m_{dr} = 12 \text{ kg}$
- Hmotnost kónusu pro vyrovnání dronu viz obrázek 37. $m_k = 5 \text{ kg}$
- $l_3 = l_2 = 1,16 \text{ m}$
- $l_q = 0,34 \text{ m}$
- $l_{dr} = 0,39 \text{ m}$
- Váha tělesa 2 $m_2 = 5 \text{ kg}$
- Váha tělesa 3 $m_3 = 2,5 \text{ kg}$
- Síla ve šroubu potřebná pro rovnováhu $F_s = ?$
- Vzdálenost e pro výpočet zanedbávám
- Vzdálenost l_p je závislá na úhlu β viz rovnice (16)

$$l_p = \frac{l_2}{2} \cdot \cos \beta - \frac{l_q}{2} \quad (16)$$

3.3.7.2. Výpočet sil působících v nůžkovém mechanismu

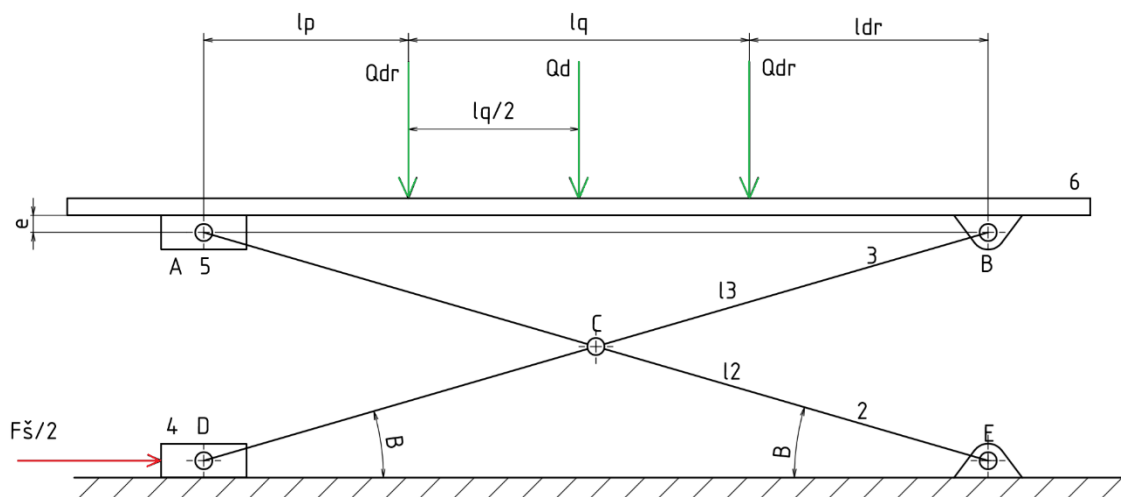
Úlohu řeším kvůli zjednodušení jako rovinnou, kde počítám, že zde působí pouze poloviční síly. Díky tomu z výpočtu získám přesné hodnoty sil působících na čepy ve vazbách. Mechanismus se bude pohybovat v závislosti na úhlu $\beta \in \langle 13^\circ \div 44^\circ \rangle$. Největší síly působící na čepy i na pohybový šroub vyjdou při zatažené poloze. Z tohoto důvodu provedu následné kontrolní výpočty pro $\beta = 13^\circ$.

$$Q_{dr} = \frac{m_{dr} \cdot g}{4} + m_k \cdot g = \frac{12 \cdot 9,81}{4} + 5 \cdot 9,81 = 78,48 \text{ N} \quad (17)$$

$$Q_d = \frac{m_d \cdot g}{2} = \frac{32 \cdot 9,81}{2} = 156,96 \text{ N} \quad (18)$$

$$G_2 = m_2 \cdot g = 5 \cdot 9,81 = 49 \text{ N} \quad (19)$$

$$G_3 = m_3 \cdot g = 2,5 \cdot 9,81 = 24,5 \text{ N} \quad (20)$$



Obrázek 38. Schéma nůžkového mechanismu [Vlastní zdroj]

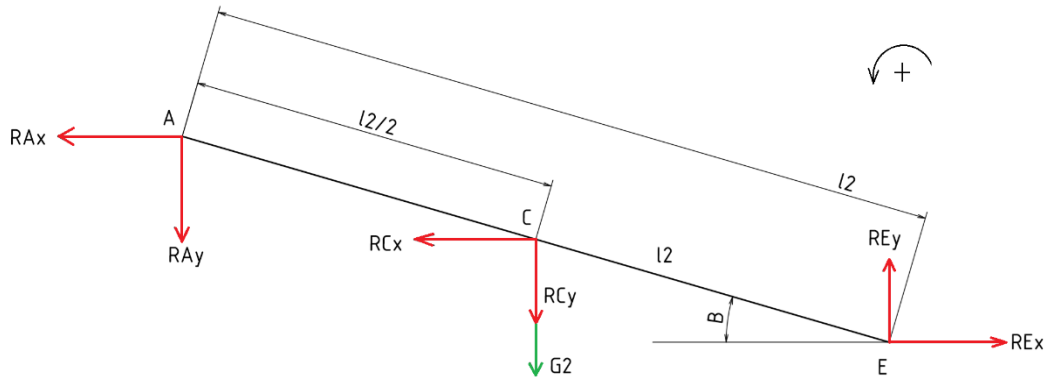
Počet stupňů volnosti nůžkového mechanismu

- Počet těles $t = 6$
- Počet rotačních vazeb $r = 5$
- Počet posuvných vazeb $p = 2$
- Počet valivých vazeb $v = 0$
- Počet obecných vazeb $o = 0$
- Počet stupňů volnosti $n = ?$

$$n = 3 \cdot (t - 1) - 2 \cdot (r + p + v) - 1 \cdot o = 3 \cdot (6 - 1) - 2 \cdot (5 + 2 + 0) - 1 \cdot 0 = 1 \quad (21)$$

Vidíme, že se jedná o mechanismus, protože vyšel 1 stupeň volnosti. Aby bylo dosaženo statické rovnováhy mechanismu, musíme zavést vnější silový účinek. Ten nám zde bude reprezentovat reakce z pohybového šroubu F_{ξ} .

3.3.7.3. Uvolnění tělesa 2



Obrázek 39. Schéma tělesa 2 [Vlastní zdroj]

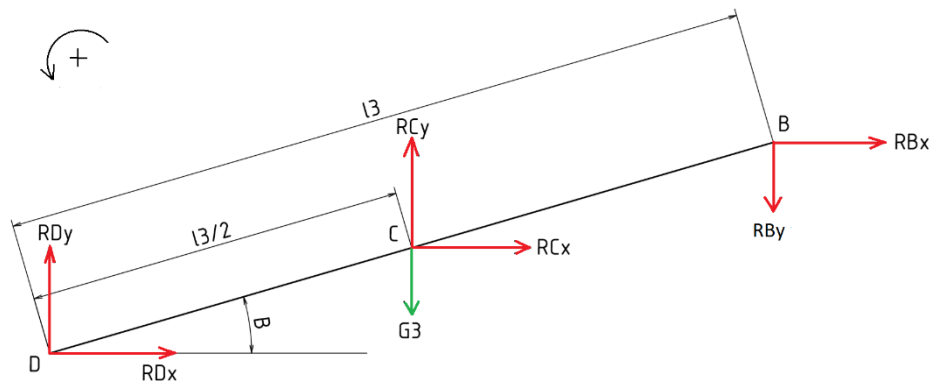
Rovnice rovnováhy tělesa 2:

$$x: R_{EX} - R_{CX} - R_{AX} = 0 \quad (22)$$

$$y: R_{Ey} - R_{Cy} - R_{Ay} - G_2 = 0 \quad (23)$$

$$M_E: R_{CY} \cdot \frac{l_2}{2} \cdot \cos \beta + G_2 \cdot \frac{l_2}{2} \cdot \cos \beta + R_{CX} \cdot \frac{l_2}{2} \cdot \sin \beta + R_{Ay} \cdot l_2 \cdot \cos \beta + R_{Ax} \cdot l_2 \cdot \sin \beta = 0 \quad (24)$$

3.3.7.4. Uvolnění tělesa 3



Obrázek 40. Schéma tělesa 3 [Vlastní zdroj]

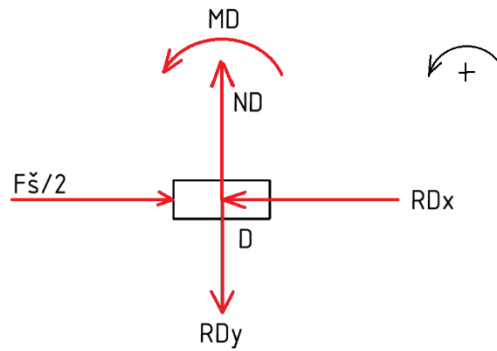
Rovnice rovnováhy tělesa 3:

$$x: R_{DX} + R_{CX} + R_{BX} = 0 \quad (25)$$

$$y: R_{Dy} + R_{Cy} - R_{By} - G_3 = 0 \quad (26)$$

$$M_D: R_{CY} \cdot \frac{l_3}{2} \cdot \cos \beta - G_3 \cdot \frac{l_3}{2} \cdot \cos \beta - R_{CX} \cdot \frac{l_3}{2} \cdot \sin \beta - R_{By} \cdot l_3 \cdot \cos \beta + R_{Bx} \cdot l_3 \cdot \sin \beta = 0 \quad (27)$$

3.3.7.5. Uvolnění tělesa 4



Obrázek 41. Schéma tělesa 4 [Vlastní zdroj]

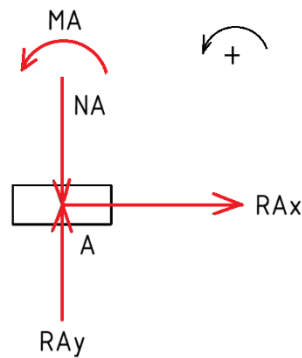
Rovnice rovnováhy tělesa 4:

$$x: \frac{F_{\dot{s}}}{2} - R_{DX} = 0 \quad (28)$$

$$y: N_D - R_{Dy} = 0 \quad (29)$$

$$M_D: M_D = 0 \quad (30)$$

3.3.7.6. Uvolnění tělesa 5



Obrázek 42. Schéma tělesa 5 [Vlastní zdroj]

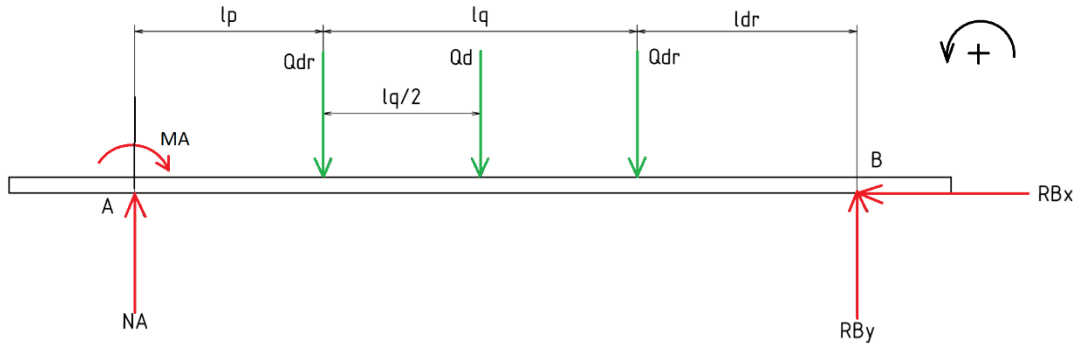
Rovnice rovnováhy tělesa 5:

$$x: R_{Ax} = 0 \quad (31)$$

$$y: R_{Ay} - N_A = 0 \quad (32)$$

$$M_A: M_A = 0 \quad (33)$$

3.3.7.7. Uvolnění tělesa 6



Obrázek 43. Schéma tělesa 6 [Vlastní zdroj]

Rovnice rovnováhy tělesa 6:

$$x: R_{BX} = 0 \quad (34)$$

$$y: N_A + R_{By} - 2 \cdot Q_{dr} - Q_d = 0 \quad (35)$$

$$M_A: -M_A - Q_{dr} \cdot l_p - Q_d \cdot \left(l_p + \frac{l_q}{2} \right) - Q_{dr} \cdot (l_p + l_q) + R_{By} \cdot (l_p + l_q + l_{dr}) = 0 \quad (36)$$

- Počet rovnic $n_r = 15$
 - Počet neznámých $n_n = 15$
- Soustava rovnic je tedy řešitelná.

Matice neznámých

$$X = [R_{AX} \ R_{AY} \ R_{CX} \ R_{CY} \ R_{EX} \ R_{EY} \ R_{DX} \ R_{DY} \ R_{BX} \ R_{BY} \ N_A \ M_A \ N_D \ M_D \ F_{\xi}]^T$$

Matice soustavy

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ l_2 \cdot \sin \beta & l_2 \cdot \cos \beta & \frac{l_2}{2} \cdot \sin \beta & \frac{l_2}{2} \cdot \cos \beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{l_3}{2} \cdot \sin \beta & \frac{l_3}{2} \cdot \cos \beta & 0 & 0 & 0 & 0 & l_3 \cdot \sin \beta & -l_3 \cdot \cos \beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (l_p + l_q + l_{dr}) & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matice známých

$$Q = \begin{bmatrix} 0 \\ G_2 \\ -G_2 \cdot \frac{l_2}{2} \cdot \cos \beta \\ 0 \\ G_3 \\ G_3 \cdot \frac{l_3}{2} \cdot \cos \beta \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \cdot Q_{dr} + Q_d \\ Q_{dr} \cdot l_p + Q_d \cdot \left(l_p + \frac{l_q}{2} \right) + Q_{dr} \cdot (l_p + l_q) \end{bmatrix}$$

$$X = A \setminus Q$$

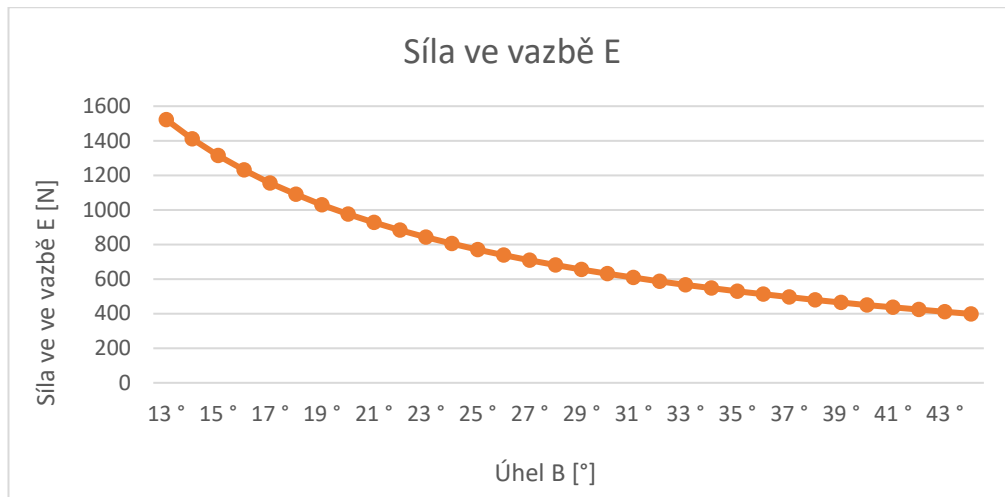
Výstup z řešení rovnic

$$\begin{aligned} R_{AX} &= 0 \text{ N} \\ R_{AY} &= 155,3 \text{ N} \\ R_{CX} &= -1509,5 \text{ N} \\ R_{CY} &= -11,1 \text{ N} \\ R_{EX} &= -1509,5 \text{ N} \\ R_{EY} &= 193,2 \text{ N} \\ R_{DX} &= 1509,5 \text{ N} \\ R_{DY} &= 191,8 \text{ N} \\ R_{BX} &= 0 \text{ N} \\ R_{BY} &= 156,7 \text{ N} \\ N_A &= 155,3 \text{ N} \\ M_A &= 0 \text{ Nm} \\ N_D &= 191,8 \text{ N} \\ M_D &= 0 \text{ Nm} \\ F_s &= 3019 \text{ N} \end{aligned}$$

Z výstupu je patrné, že nejvíce namáhaný čep je v bodě E, obdobně je namáhaný také čep v bodě C a D. Pro návrhový výpočet je nutné znát celkovou sílu působící ve vazbě, proto musíme z rozkladu sil zjistit celkovou sílu.

$$R_E = \sqrt{R_{EX}^2 + R_{EY}^2} = \sqrt{(-1509,5)^2 + 193,2^2} = 1521,8 \text{ N} \quad (37)$$

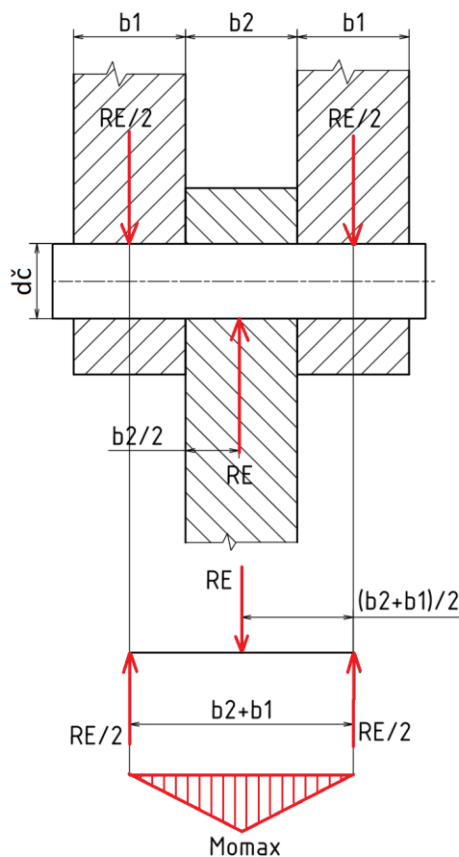
Ze závislosti velikosti síly na úhlu β je vidět exponenciální průběh. Čím více je plošina vysunutá, tím méně jsou jednotlivé čepy zatěžovány a pro uvedení plošiny do pohybu je potřeba menší síla od pohybového šroubu.



3.3.7.8. Návrhový výpočet čepového spoje v bodě E

Čepy se používají v pohyblivých částech. Jsou namáhány převážně na ohyb, díky vůli, která vzniká mezi čepem a materiálem. Čepy se následně musí kontrolovat na smyk a otláčení.

Pro výpočet jsem použil zjednodušené řešení, kdy sílu působící na vnitřní člen jsem umístil doprostřed. Na druhou stranu se jedná o variantu na straně bezpečnosti.



Obrázek 44. Návrh sil působících na čep [Vlastní zdroj]

Materiálové vlastnosti:

Čepy budou vyrobeny z oceli E 335 (11 600) s mechanickými vlastnostmi:

- Mez pevnosti v tahu $R_m = 600 \text{ MPa}$
- Mez kluzu $R_e = 294 \text{ MPa}$
- Dovolený tlak $p_d = 80 \text{ MPa}$

Táhla budou vyrobeny z hliníku 5083 (AlMg4,5Mn0,7) s mechanickými vlastnostmi:

- Mez pevnosti v tahu $R_m = 280 \text{ MPa}$
- Mez kluzu $R_e = 140 \text{ MPa}$
- Dovolený tlak $p_d \approx 14 \text{ MPa}$

Dovolené napětí volím z meze kluzu čepu, s bezpečností $k = 2$, tedy

$$\sigma_{DO} = \frac{R_e}{k} = \frac{294}{2} = 147 \text{ MPa} \quad (38)$$

Pro výpočet hodnoty maximálního ohybového momentu volím $b_1 = b_2 = 16 \text{ mm}$

$$M_{omax} = \frac{R_E}{2} \cdot \frac{b_1 + b_2}{2} = \frac{1521,8}{2} \cdot \frac{32}{2} = 12174,4 \text{ Nmm} \quad (39)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{M_{omax}}{\frac{\pi \cdot d_\zeta^3}{32}} \leq \sigma_{DO} \rightarrow d'_\zeta = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{omax}}{\pi \cdot \sigma_{DO}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 12174,4}{\pi \cdot 147}} = 9,45 \text{ mm} \quad (40)$$

Volím průměr čepu $d_\zeta = 12 \text{ mm}$

3.3.7.9. Kontrolní výpočet čepového spoje v bodě E

Kontrolní výpočet na stříh

Pro výpočet je nutné znát dovolené napětí ve smyku pro čep. Ke zjištění této hodnoty použiji přibližný přepočítání z hodnoty meze kluzu.

$$\tau_D = 0,6 \cdot R_e = 0,6 \cdot 294 = 176,4 \text{ MPa} \quad (41)$$

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{R_E}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_\zeta^2}{4}} = \frac{1521,8}{\frac{\pi \cdot 12^2}{2}} = 6,73 \text{ MPa} < 176,4 \text{ MPa} \quad (42)$$

Kontrolní výpočet na otláčení

Musíme kontrolovat táhla, jelikož jsou z měkčího materiálu než čep.

$$p_1 = \frac{R_E}{2 \cdot b_1 \cdot d_\zeta} = \frac{1521,8}{2 \cdot 16 \cdot 12} = 3,96 \text{ MPa} < 14 \text{ MPa} \quad (43)$$

$$p_2 = \frac{R_E}{b_1 \cdot d_{\xi}} = \frac{1521,8}{16 \cdot 12} = 7,93 \text{ MPa} < 14 \text{ MPa} \quad (44)$$

Navržený čep vyhovuje na stříh i na otláčení.

3.3.7.10. Návrh pohybového šroubu

Materiálové vlastnosti:

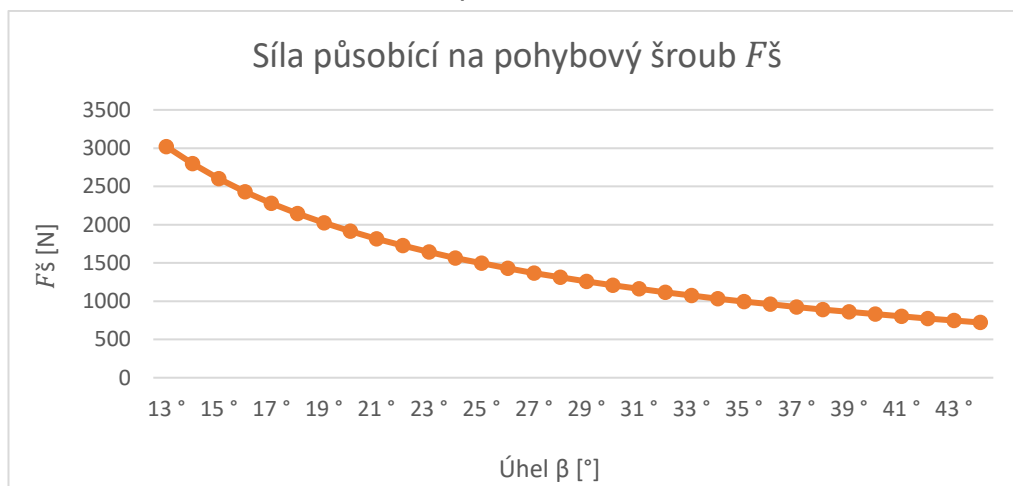
Pohybový šroub bude vyroben z nerezové oceli AISI 316 (17 346) s mechanickými vlastnosti:

- Mez pevnosti v tahu $R_m = 610 \text{ MPa}$
- Mez kluzu $R_{p0,2} = 205 \text{ MPa}$

Šroub pracuje v kinematické dvojici s bronzovou maticí z materiálu z Rg7 (423137). Jedná se o cínový bronz, který je tzv. samomazný. Díky jeho vlastnostem se používá například pro výrobu ložiskových pouzder. [28]

Při návrhu budu vycházet z mechanických vlastností bronzové matice, protože má horší mechanické vlastnosti než ocelový šroub. Výchozím parametrem je dovolený tlak v závitech $p_d = 8 \div 10 \text{ MPa}$, který s ohledem na bezpečnost volím $p_d = 8 \text{ MPa}$. I přes samomazné vlastnosti bronz je vhodnější šroub pravidelně mazat. Díky tomu se sníží tření mezi závity na minimum a šroub tak bude namáhaný daleko méně kroutícím momentem. Při použití ocelového šroubu a bronzové matice, s ohledem na jejich mazání, se součinitel tření rovná přibližně $f \approx 0,08$. Dále si musíme definovat součinitel pracovní výšky závitu $\Psi_H = 0,5$ (pro lichoběžníkový rovnoramenný závit) a součinitel výšky matice $\Psi_h = 1,5$ až $2,5$ volím $\Psi_h = 2$. [29]

Ze závislosti reakční síly od pohybového šroubu na úhlu β vidíme obdobný průběh jako u síly působící ve vazbě E. Z průběhu je zřejmé, že největší reakční síla od pohybového šroubu je při zatažené poloze, tedy úhel $\beta = 13^\circ$.



Návrh průměru pohybového šroubu

Pro střední tlak v závitech platí vztah:

$$p = \frac{F_{\xi}}{S} = \frac{F_{\xi}}{z \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1} \leq p_D \quad (45)$$

- Osová síla $F_{\xi} = 3019 \text{ N}$
- Počet závitů z
- Střední průměr závitu d_2
- Nosná hloubka závitu H_1

Další potřebné vztahy:

$$\Psi_H = \frac{H_1}{p} \rightarrow H_1 = p \cdot \Psi_H \quad (46)$$

$$\Psi_h = \frac{h}{d_2} \rightarrow h = d_2 \cdot \Psi_h \quad (47)$$

$$h = p \cdot z \rightarrow z = \frac{h}{p} \quad (48)$$

Po dosazení do vztahu 45 dostaneme:

$$p = \frac{F_{\xi}}{S} = \frac{F_{\xi}}{\frac{h}{p} \cdot \pi \cdot d_2 \cdot p \cdot \Psi_H} \rightarrow \frac{F_{\xi}}{\frac{d_2 \cdot \Psi_h}{p} \cdot \pi \cdot d_2 \cdot p \cdot \Psi_H} \leq p_D \rightarrow$$

$$\rightarrow d'_2 \geq \sqrt{\frac{F_{\xi}}{\pi \cdot \Psi_H \cdot \Psi_h \cdot p_D}} = \sqrt{\frac{3019}{\pi \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 8}} = 10,96 \text{ mm} \quad (49)$$

S ohledem na kontrolní výpočet ložisek pro uložení pohybového šroubu a z důvodu náročné technologie výroby volím dle ČSN 01 4050 závit Tr 20x4 s následujícími parametry:

- Jmenovitý průměr šroubu $d = 20 \text{ mm}$
- Střední průměr $d_2 = 18 \text{ mm}$
- Malý průměr $d_3 = 15,5 \text{ mm}$
- Rozteč $p = 4 \text{ mm}$

Úhel stoupání závitu γ

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{i \cdot p}{\pi \cdot d_2} \rightarrow \gamma = \operatorname{arctg} \left(\frac{i \cdot p}{\pi \cdot d_2} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{1 \cdot 4}{\pi \cdot 18} \right) = 4,05^\circ \quad (50)$$

Úhel boku profilu závitu β_n

$\beta = 15^\circ$ pro rovnoramenný lichoběžníkový závit

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta_n &= \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \gamma \rightarrow \beta_n = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg}(\beta) \cdot \cos(\gamma)) \\ &= \operatorname{arctg}(\operatorname{tg}(15^\circ) \cdot \cos(4,05^\circ)) = 14,96^\circ \end{aligned} \quad (51)$$

Třecí úhel φ'

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{f}{\cos \beta_n} \rightarrow \varphi' = \operatorname{arctg} \left(\frac{f}{\cos \beta_n} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{0,08}{\cos 14,96^\circ} \right) = 4,73^\circ \quad (52)$$

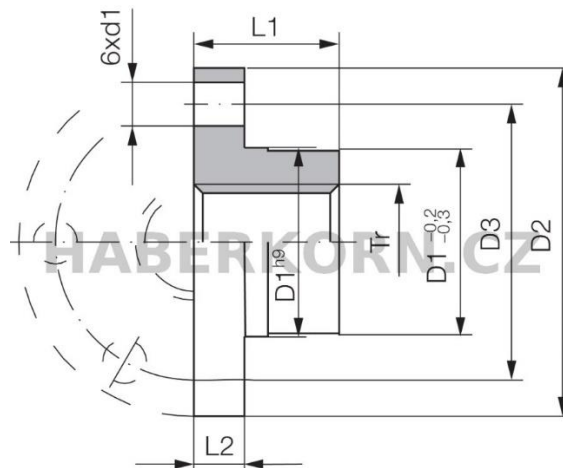
Třecí úhel vyšel větší než úhel stoupání závitu. Díky tomu můžeme s jistotou říci, že daná závitová dvojice bude samosvorná. Tedy při zastavení plošiny v horní poloze nebude docházet k samovolnému zasouvání plošiny vlivem zátěže nůžkového mechanismu. Pokud by tomu tak nebylo a úhel stoupání závitu byl vyšší než třecí úhel, pak by samotná závitová dvojice nebyla samosvorná. Nebyl by to velký problém, jelikož v konceptu je použita šneková převodovka, která má právě velkou výhodu, a to že je samosvorná.

Zvolil jsem bronzovou matici v přírubovém provedení a v katalogu společnosti Haberkorn jsem vyčetl tyto parametry matice:

Závit Tr 20x4

- Průměr $D_1 = 32$ mm
- Průměr $D_2 = 55$ mm
- Průměr $D_3 = 45$ mm
- Průměr díry pro šroub $d_1 = 6,5$ mm
- Vzdálenost $L_1 = 44$ mm
- Vzdálenost $L_2 = 12$ mm

[30]



Obrázek 45. Trapézová matice s přírubou [30]

Počet závitů matice

$$z = \frac{L_1}{p} = \frac{44}{4} = 11 \quad (53)$$

Pro následný kontrolní výpočet musíme brát počet činných závitů, který se pohybuje v rozmezí $z_{\check{c}} = 8$ až 12 závitů, volím $z_{\check{c}} = 10$.

3.3.7.11. Kontrolní výpočty pohybového šroubu

Kontrola otláčení činných závitů

$$p = \frac{F_{\check{s}}}{z_{\check{c}} \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1} = \frac{3019}{10 \cdot \pi \cdot 18 \cdot 2} = 2,67 \text{ MPa} < 8 \text{ MPa} \rightarrow \text{Matice vyhovuje} \quad (54)$$

Kontrola dřívku šroubu

Napětí v tahu

$$\sigma_t = \frac{F_{\check{s}}}{S_3} = \frac{F_{\check{s}}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{3019}{\frac{\pi \cdot 15,5^2}{4}} = 16 \text{ MPa} \quad (55)$$

Napětí v krutu

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_{\check{s}} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\gamma + \varphi')}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{3019 \cdot \frac{18}{2} \cdot \text{tg}(4,05 + 4,73)}{\frac{\pi \cdot 15,5^3}{16}} = 5,74 \text{ MPa} \quad (56)$$

Redukované napětí

Pro výpočet redukovaného napětí použijeme hypotézu dle Trescy (τ_{\max}) $\rightarrow \alpha = 2$.

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_t^2 + \alpha^2 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{16^2 + 4 \cdot 5,74^2} = 19,7 \text{ MPa} \quad (57)$$

Bezpečnostní koeficient

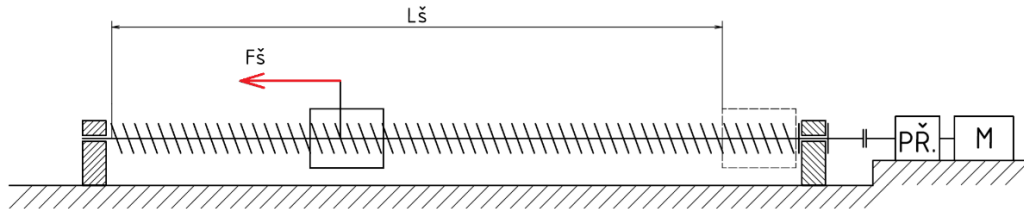
Dovolené napětí v tahu vychází z namáhání šroubu tahem $\sigma_{dt} = R_{p0,2} = 205 \text{ MPa}$

$$k = \frac{\sigma_{dt}}{\sigma_{\text{red}}} = \frac{205}{19,7} = 10,4 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (58)$$

Bezpečnostní koeficient vyšel zbytečně vysoký, ale s tím se počítalo, protože kvůli ložiskům a technologii výroby jsem zvolil větší šroub, než bych měl použít podle návrhového výpočtu.

3.3.7.12. Návrh elektromotoru

Pro návrh hnacího elektromotoru musíme vycházet ze vzdálenosti výsuvu pohybového šroubu $l_{\xi} = 300$ mm, síly působící na pohybový šroub $F_{\xi} = 3019$ N a doby, za kterou musí být výsuv realizován $t_{max} = 10$ s.



Obrázek 46. Schéma pohonu pro výsuv plošiny [Vlastní zdroj]

Z nákresu (viz obrázek 46) je patrné, že motor je k převodovce připojen napřímo bez mezičlenu. Převodovka je dále spojena s pohybovým šroubem pomocí pružné spojky. Účinnost pružné spojky je $\eta_{spoj} = 0,98$, účinnost ložisek $\eta_{lož} = 0,99$ a účinnost převodovky je $\eta_{př} = 0,91$.

Po konzultaci s odborníky ze společnosti NST HK jsem se rozhodl, kvůli zpřesnění řízení, použít šnekovou převodovku s převodovým poměrem $i_{př} = 5$.

Pružná spojka nám dokáže vyrovnat menší nepřesnosti výroby, které by mohly dělat problém jak při montáži, tak při chodu pohybového šroubu. Tyto spojky se převážně uplatňují v aplikacích, kde je vysoká taktovost pohybů. U našeho případu tomu tak není, avšak její další výhodou je tlumení vibrací, právě při napojení servomotorů na kuličkový šroub s dlouhým zdvihem a vysokou rychlostí. [31]

Výpočet otáček elektromotoru

Ze znalosti vzdálenosti posuvu matice a doby, za kterou se musí plošina vysunout, určíme rychlost, jakou se musí pohybovat matice. Následně vypočítáme potřebné otáčky elektromotoru.

$$v'_p = \frac{L_{\xi}}{t_{max}} = \frac{300}{10} = 30 \text{ mm/s} \quad (59)$$

$$v'_p = \frac{i \cdot p \cdot n'_{\xi}}{60} \rightarrow n'_{\xi} = \frac{60 \cdot v'_p}{i \cdot p} = \frac{60 \cdot 30}{1 \cdot 4} = 450 \text{ ot/min} \quad (60)$$

$$i_{př} = \frac{n'_M}{n'_{\xi}} \rightarrow n'_M = i_{př} \cdot n'_{\xi} = 5 \cdot 450 = 2250 \text{ ot/min} \quad (61)$$

Je tedy zřejmé, že budeme muset použít motor z otáčkové třídy $n_M = 3000$ ot/min. Provedeme přepočítání skutečných rychlostí posuvu matice a otáček pohybového šroubu.

$$i_{př} = \frac{n_M}{n_{\xi}} \rightarrow n_{\xi} = \frac{n_M}{i_{př}} = \frac{3000}{5} = 600 \text{ ot/min} \quad (62)$$

$$v_p = \frac{i \cdot p \cdot n_s}{60} = \frac{1 \cdot 4 \cdot 600}{60} = 40 \text{ mm/s} \quad (63)$$

$$t_{\text{výsvu}} = \frac{L_s}{v_p} = \frac{300}{40} = 7,5 \text{ s} \quad (64)$$

Díky použití motoru z této otáčkové třídy, se čas potřebný k výsuvu plošiny ještě snížil, tedy podmínka nejdelšího času výsuvu je dodržena.

Výpočet účinnosti závitové dvojice

$$\eta_z = \frac{P_{od}}{P_{př}} = \frac{Q \cdot v_p}{M_{kš} \cdot \omega_s} = \frac{tg \gamma}{tg(\gamma + \varphi')} = \frac{tg(4,05)}{tg(4,05 + 4,73)} = 0,46 \rightarrow 46 \% \quad (65)$$

Celková účinnost pohonu

$$\eta_c = \eta_z \cdot \eta_{př} \cdot \eta_{lož} \cdot \eta_{spoj} = 0,46 \cdot 0,91 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 0,406 \rightarrow 40,6 \% \quad (66)$$

Výstupní výkon mechanismu

$$P_{vyst} = F_s \cdot v_p = 3019 \cdot 0,04 = 120,8 \text{ W} \quad (67)$$

Minimální výkon elektromotoru

$$\eta_c = \frac{P_{vyst}}{P_{M'}} \rightarrow P_{M'} = \frac{P_{vyst}}{\eta_c} = \frac{120,8}{0,406} = 297,5 \text{ W} \quad (68)$$

Minimální točivý moment elektromotoru

$$\omega_M = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_M}{60} = \frac{\pi \cdot n_M}{30} = \frac{\pi \cdot 3000}{30} = 314,16 \text{ s}^{-1} \quad (69)$$

$$P_{M'} = M_{kM'} \cdot \omega_M \rightarrow M_{kM'} = \frac{P_{M'}}{\omega_M} = \frac{297,5}{314,16} = 0,947 \text{ Nm} \quad (70)$$

Potřebný točivý moment na šroubu

$$\begin{aligned} M_{kš} &= F_s \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \varphi') = 3019 \cdot \frac{18}{2} \cdot \tan(4,05 + 4,73) \\ &= 4196,58 \text{ Nmm} = 4,2 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (71)$$

3.3.7.13. Výběr elektromotoru

Po konzultaci s pracovníky ve firmě NST bych vybral servomotor **SM0602AE4-KCD-NNV** od společnosti Raveo. Servomotory se používají hlavně v polohovacích aplikacích. Díky

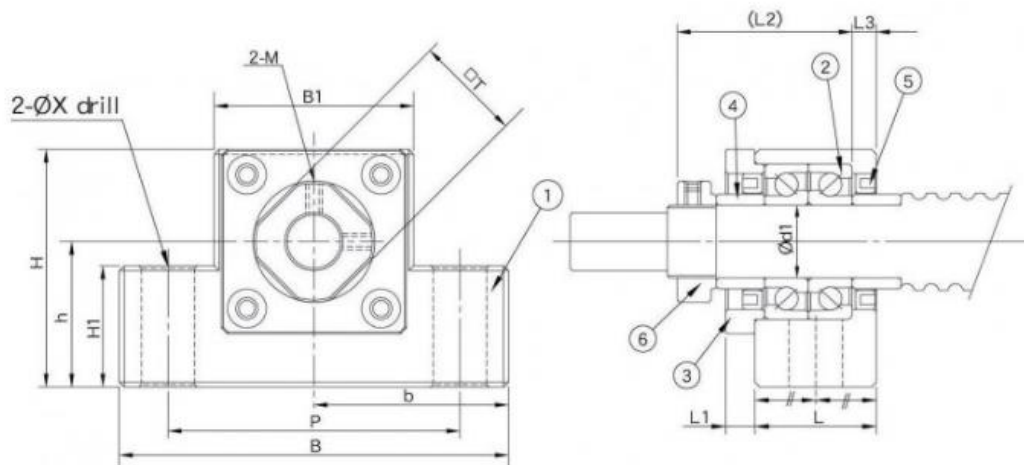
jejich výborné zpětné vazbě, přesnému polohování výstupního hřídele a řízení otáček, jsou velmi často používané pro různé stroje v CNC aplikacích. Servomotor disponuje těmito parametry:

- Výstupní výkon $P_M = 400 \text{ W}$
- Nominální otáčky $n_M = 3000 \text{ ot/min}$
- Nominální točivý moment $M_{kM} = 1,27 \text{ Nm}$
- Hmotnost s brzdou $m_M = 1,9 \text{ kg}$ [32]

3.3.7.14. Kontrola ložiskových domečků

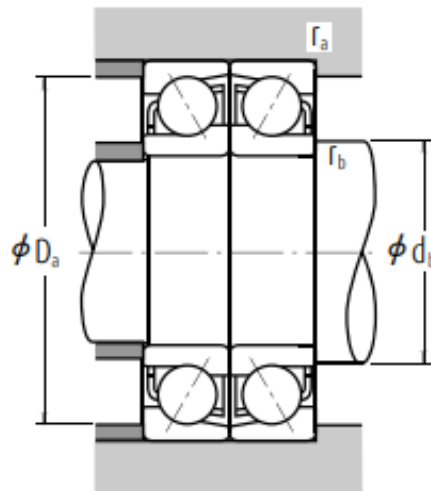
Ze schématu pohonu (viz obrázek 46) vidíme, že radiálně axiální ložisko je namáhané pouze axiální silou. Druhé, radiální ložisko, je volné a není namáhané, proto ho nemusíme kontrolovat. Pro dynamickou analýzu jsem dostal požadavek, že pohon musí zvládnout pracovat minimálně 500 h $\rightarrow L_{hmin} = 500 \text{ h}$. Což vzhledem k taktovému pohybu plošiny je dostatečné.

Pro pevné (radiálně axiální) uložení pohybového šroubu jsem použil ložiskový domeček EK15 od společnosti Hiwin. V domečku se podle obrázku 47 používají tzv. párovaná ložiska s kosoúhlým stykem montovaná do X. Díky tomu se zvětší únosnost daného uložení. [33]



Obrázek 47. Radiálně axiální uložení pohybového šroubu [33]

Aby bylo možné provést statickou i dynamickou kontrolu, museli jsme pro uložení 7002 A vyhledat všechny potřebné parametry.



Obrázek 48. Párované ložisko s kosoúhlým stykem [34]

Parametry uložení 7002 A

Jelikož je ložisko namáháno pouze axiální silou, pak jakýkoli poměr $\frac{F_a}{F_r} > e$. Mohli jsme tedy z katalogu rovnou vyhledat potřebné parametry pro kontrolní výpočet.

- Součinitel $e = 0,8$
- Součinitel $X_0 = 1$
- Součinitel $Y_0 = 0,66$
- Součinitel $X = 0,63$
- Součinitel $Y = 1,24$
- Statická únosnost $C_0 = 6850 \text{ N}$
- Dynamická únosnost $C = 9950 \text{ N}$ [34]

Statická kontrola uložení

Axiální sílu zde představuje síla od pohybového šroubu, tedy $F_a = F_s = 3019 \text{ N}$. Pro výpočet statického ekvivalentního zatížení platí:

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 1 \cdot 0 + 0,66 \cdot 3019 = 1992,54 \text{ N} \quad (72)$$

Statickou bezpečnost vypočítáme ze vztahu:

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{6850}{1992,54} = 3,44 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (73)$$

Dynamická kontrola uložení

Pro výpočet dynamického ekvivalentního zatížení platí:

$$(74) \quad P_e = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0,63 \cdot 0 + 1,24 \cdot 3019 = 3743,6 \text{ N}$$

Základní trvanlivost v hodinách vypočítáme ze vztahu (66), kdy koeficient p se pro kuličková ložiska rovná $p = 3$.

$$L_h = \left(\frac{C}{P_e}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_g} = \left(\frac{9950}{3743,6}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 600} = 521,6 \text{ h} > 500 \text{ h} \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (75)$$

3.4. Návrh ramena pro manipulaci s akumulátorem

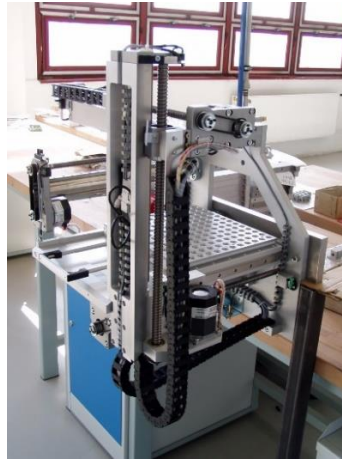
Z ekonomického hlediska jsem se rozhodl pro realizaci vlastního návrhu manipulátoru, jelikož různá robotická ramena, coboti a další průmysloví roboti jsou poměrně drahá zařízení. Pokud chceme s naší stanicí být konkurence schopní, pak cena bude hlavní parametr, který by měl lákat zákazníky pro koupi této stanice.

Z tohoto důvodu si v této části rozeberu manipulátory, které by byly použitelné v naší stanici, jejich konstrukci a provedení. Následně se rozhodnu, které provedení manipulátoru bude optimální pro použití v našem zařízení a v další části provedu nejdůležitější výpočty pro návrh našeho řešení.

3.4.1. Jednoučelové manipulátory

Mezi tyto manipulátory patří převážně podavače materiálu, manipulační zařízení ovládaná přímo člověkem, synchronní manipulátory a další. Tyto manipulátory se vyznačují jednodušším konstrukčním řešením a kvůli tomu také menším rozsahem pohybů, které ovšem stačí na danou aplikaci. Využívají se převážně v případech, kde nasazovat drahá robotická ramena by bylo komplikované a neekonomické, protože řešení daných problémů není nikterak složité. Samozřejmě takovéto manipulátory mají oproti robotům daleko jednodušší řízení, buď s pevným nebo proměnlivým programem. [35]

V naší stanici bude nejvhodnější použít právě takovýto jednoduchý manipulátor. (viz obrázek 49) Tyto manipulátory si následně rozdělíme podle pracovních prostorů, které by bylo možné zde využít. Pracovním prostorem rozumíme prostor v nepohyblivém souřadnicovém systému, v kterém manipulátor dokáže vykonávat předem stanovené operace. Tento prostor se ještě dá zvětšit pomocí efektoru (chapadla) pro uchopení daného objektu, v našem případě akumulátoru dronu. Je nutné použít manipulátor, který je schopný realizovat přímočarý pohyb směrem k dronu, jelikož tento pohyb využívá následně mechanismus aretace akumulátoru v dronu a v jednotlivých zásobnících. Z tohoto důvodu zde rozeberu pouze manipulátory, které tento pohyb mohou realizovat.

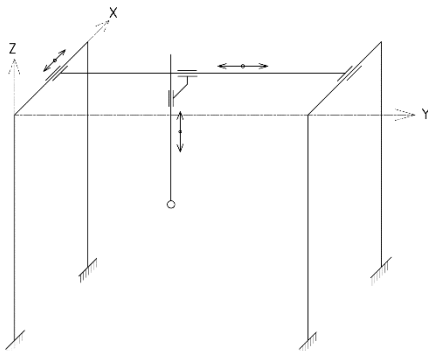


Obrázek 49. Manipulátor zkumavek [36]

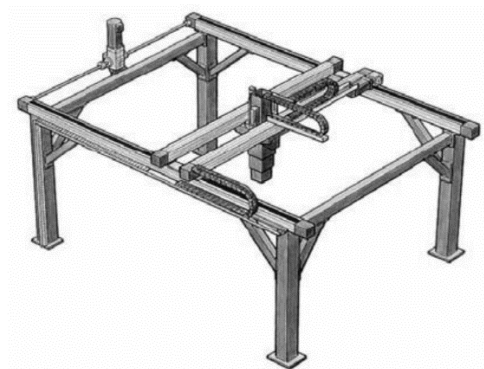
3.4.1.1. Manipulátor s kartézským pracovním prostorem

Tento manipulátor se charakterizuje jeho hranolovitým pracovním prostorem, jelikož jsou zde použity pouze posuvné pohyby. Problémem takovéhoho manipulátoru je, že nedochází ke změně orientace přesouvaného objektu, pokud není použit efektor s možností rotačního pohybu. Dalším problémem je velký zastavěný prostor, který je nevyužitelný (viz obrázek 51). Naopak velkou výhodou takovéhoho manipulátoru je přesnost, rychlost polohování a stabilita celé konstrukce. [37]

Díky použití pouze posuvných pohybů (viz obrázek 50) je také velmi snadné řízení. Využívají se jako podavače, ale obdobným způsobem jsou realizované některé obráběcí stroje či jeřáby.



Obrázek 50. Náčrt pohybů v kartézském souřadnicovém systému [Vlastní zdroj]

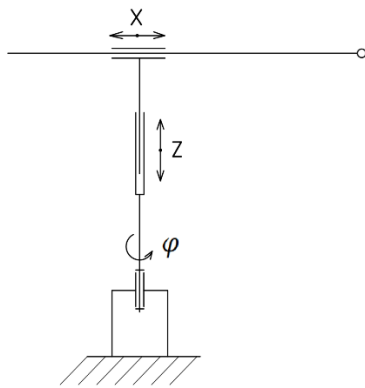


Obrázek 51. Manipulátor s kartézským pracovním prostorem [37]

3.4.1.2. Manipulátor s cylindrickým pracovním prostorem

Pracovním prostorem takovéhoho manipulátoru je válcový prstenec, jelikož prostor kolem osy rotace nelze využít k pohybu. Využívá se zde jak rotačního, tak posuvných pohybů. Díky tomu je možné realizovat změnu orientace přesouvaného objektu. [37]

Velkou nevýhodou je, že k manévrování je potřeba poměrně velký prostor, právě z důvodu nevyužívaného prostoru kolem osy rotace. Oproti tomu jsou zde malé zástavbové prostory. Tento manipulátor je oproti manipulátoru s kartézským pracovním prostorem méně přesný a není ani tak stabilní. Pro jeho stabilitu je nutné používat velká ložiska, která jsou nutná pro realizaci rotačního pohybu manipulátoru. Takovéto manipulátory se využívají u vstřikovacích strojů na tlakové lití, nebo opět jako podavače. Z důvodu rozsáhlého manévrovacího prostoru není vhodný pro aplikace, kde se kolem něho pohybují pracovníci. Tento prostor se velmi špatně odhaduje a může dojít ke kolizi manipulátoru s pracovníky.



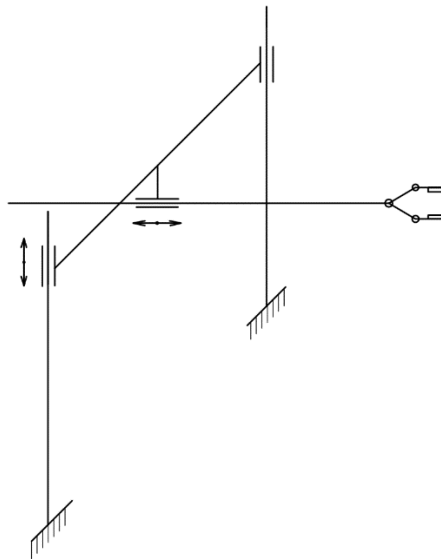
Obrázek 52. Náčrt možných pohybů v cylindrickém souřadnicovém systému [Vlastní zdroj]



Obrázek 53. Manipulátor s cylindrickým pracovním prostorem [37]

S ohledem na předem stanovené otevírání střechy hangáru a na výsuv přistávací plošiny, jsem se rozhodl možné návrhy variant řešení upravit, aby co nejvíce odpovídaly možnosti použití u naší stanice. Kvůli jednoduchosti jsem vytvořil varianty s využitím co nejméně pohyblivých os, ale zároveň, aby výměna baterie byla realizovatelná pomocí těchto pohybů.

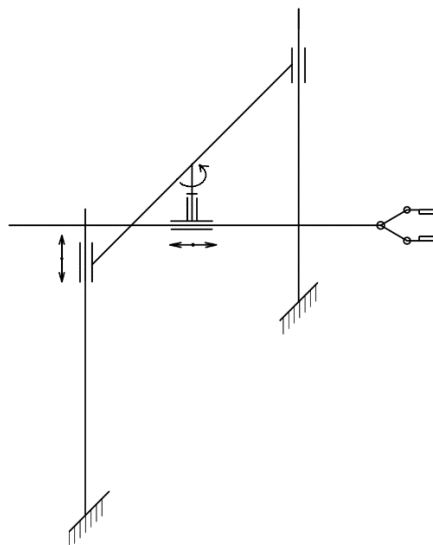
3.4.1.3. Varianta A



Obrázek 54. Náčrt varianty A [Vlastní zdroj]

U této varianty se využívá kartézského souřadnicového systému, ovšem není zde použita jedna osa pohybu, takže pracovní prostor má tvar obdélníku. Pro vyjmutí akumulátoru z dronu a založení do prázdného zásobníku je nutné provést minimálně 2 posuvné pohyby. Nerozebírám zde pohyb efektoru, nýbrž pouze manipulátoru. S ohledem na použití nůžkového mechanismu pro výsuv přistávací plošiny by bylo nutné mít zásobníky s akumulátory až pod úroveň tohoto mechanismu, tím by stanice nabyla na výšce. Tento problém by se vyřešil použitím rotační osy před výsuvem ramena s efektozem viz var. B.

3.4.1.4. Varianta B

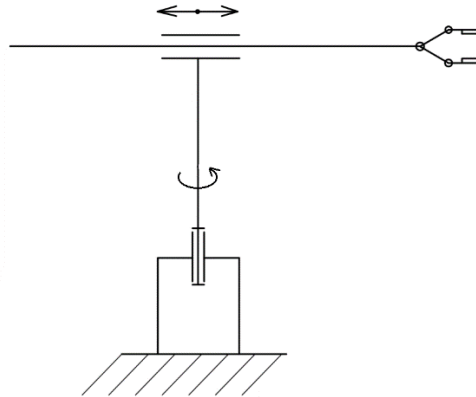


Obrázek 55. Náčrt varianty B [Vlastní zdroj]

Díky rotační ose varianta B umožňuje realizovat otočení akumulátoru a využití prostoru na levé straně manipulátoru pro zásobníky s akumulátory. Využití tohoto prostoru je celkem logické. Pokud zohledníme použití výsuvu střechy pomocí ozubeného hřebenu,

tak právě na této straně by byla upevněna vodítka pro výsuv střechy. Vodítka jsou v této pozici nutná pro zajištění dostatečné opory střechy.

3.4.1.5. Varianta C



Obrázek 56. Náčrt varianty C [Vlastní zdroj]

Tato varianta využívá cylindrického souřadnicového systému, ale jsou zde použity pouze dva pohyby, takže pracovní prostor má tvar mezikruží. Jedná se o často využívanou variantu právě u manipulátorů, která je zároveň modifikovatelná. Rotační osa stejně jako u varianty B nám umožní otočení akumulátoru. Oproti variantě B výsuv ramene není omezený rámem, což umožní mít zásobníky s akumulátory rozdělené na kružnici kolem manipulátoru.

3.4.2. Zhodnocení variant manipulátorů a výběr řešení

Následující tabulka, stejně jako předchozí využívá bodovacího systému, kdy 1 znamená nejhorší hodnocení a 5 nejlepší hodnocení.

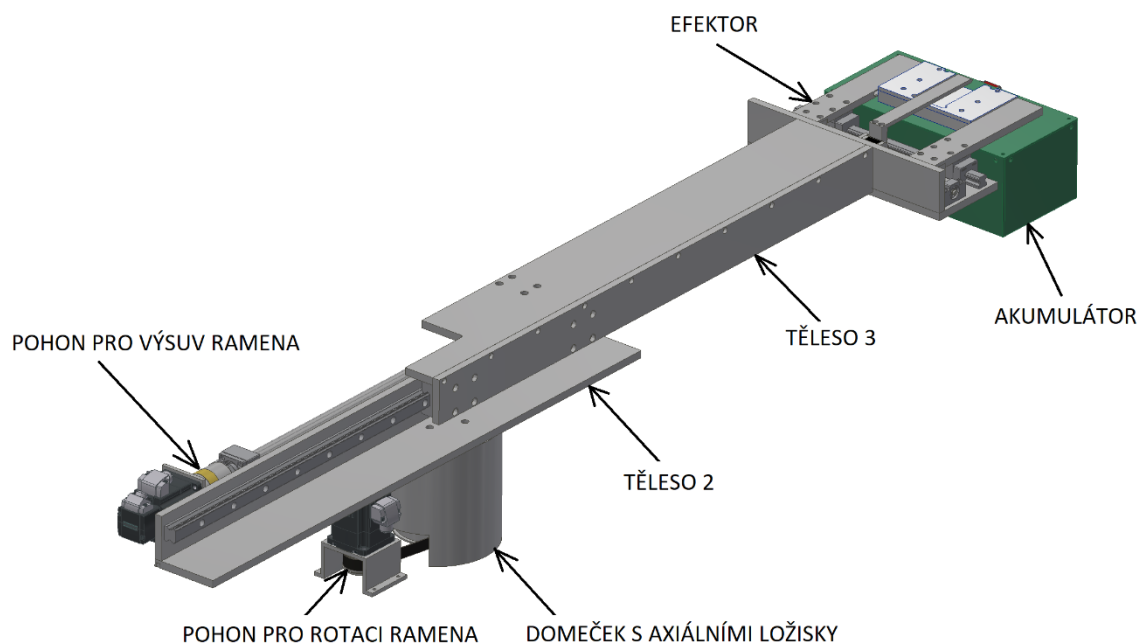
Tabulka 4. Hodnocení jednotlivých variant manipulátorů

Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
Přesnost	5	4	4
Jednoduchost	4	3	5
Hmotnost mechanismu	4	2	4
Zastavěný prostor	3	3	5
Náročnost na seřízení	4	3	4
Tuhost konstrukce	4	4	3
Cena	3	2	4
Montáž	4	2	3
Σ	31	23	32
Využití prostoru pro výsuv střechy	NE	ANO	ANO

Bodovací metodou vyšlo velmi podobné hodnocení pro variantu A a C. Z toho důvodu jsem se opět rozhodl přidat jedno rozhodovací kritérium, a to využití prostoru, kam se bude vysouvat střecha hangáru. Kvůli tomuto kritériu jsem se rozhodl pro variantu C.

3.4.3. Rozbor zvoleného konstrukčního řešení

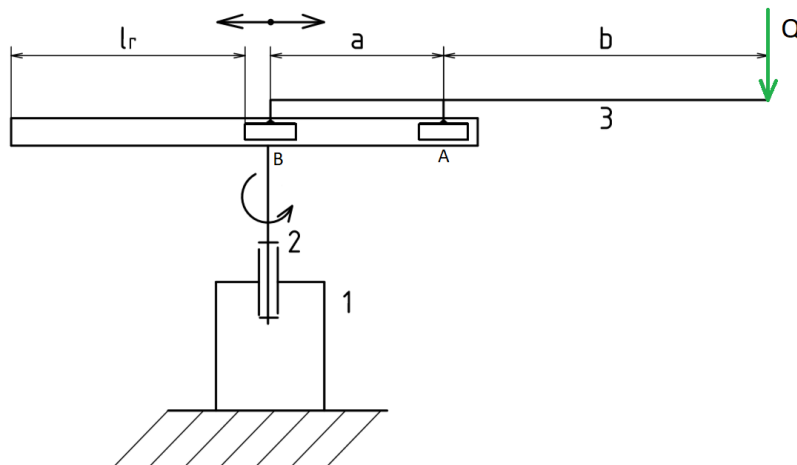
Varianta C využívá cylindrického souřadnicového systému, ale pouze s dvěma stupni volnosti, tedy pracovní prostor bude mít tvar mezikružší. Rotační část je připevněna na pevné podstavě. Mechanismus výsuvu ramene je smontovaný s rotační částí, což nám zajistí možnost pohybu manipulátoru v jedné hladině. Celý mechanismus bude mít poměrně velkou hmotnost. Při úplném výsuvu ramena s akumulátorem umístěným v efektoru, bude na ložiska působit moment, který vyvodí reakci v ose rotace. Z tohoto důvodu bude vhodné využít buď axiální ložiska, která nám zachytí právě tuto sílu, nebo ložiska s kosoúhlým stykem, montovaná do X. Po konzultaci jsem se s ohledem na nízké otáčky manipulátoru rozhodl pro variantu s uložením do axiálních ložisek. Výsuv ramene bude realizován pomocí rotace staticky uloženého kuličkového šroubu, kdy matice bude spojena s posuvnou částí obdobně jako u zvolené varianty nůžkového zvedáku. (viz obrázek 57) Bude zde použit právě kuličkový šroub, jelikož na něj bude působit pouze kroutcí moment od motoru, aby se dosáhlo co nejhladšího chodu. Výpočet kuličkového šroubu je s našimi znalostmi nerealizovatelný, jelikož se jedná o velmi složitou problematiku. Z tohoto důvodu zde rozeberu jen nejdůležitější výpočty pro návrh ramena manipulátoru.



Obrázek 57. Koncepční návrh ramena pro manipulaci s baterií [Vlastní zdroj]

3.4.3.1. Zadané hodnoty pro návrhový výpočet

Pro výpočet bude nutné znát maximální výsuv ramena, při kterém na mechanismus bude působit maximální ohybový moment. Z něho navrhnu rozměry použitých profilů jednotlivých těles. Bude nutné znát také maximální průhyb na konci ramena, podle kterého bude nutné upravit nájezdy pro založení akumulátoru do dronu. Pro zajištění stability mechanismu se použijí poměrně robustní ložiska, která svou únosností a životností jsou poměrně předimenzovaná, a proto jsem zde jejich výpočet nevedl.



Obrázek 58. Schematický náčrt ramena pro manipulaci s baterií [Vlastní zdroj]

- Výsuv ramene $l_r = 474 \text{ mm}$
- Vzdálenost $a = 222,5 \text{ mm}$
- Vzdálenost $b = 545 \text{ mm}$
- Hmotnost efektoru $m_e = 3 \text{ kg}$
- Hmotnost baterie $m_b = 5 \text{ kg}$

Síla zatěžující rameno:

$$Q = (m_e + m_b) \cdot g = (3 + 5) \cdot 9,81 = 78,48 \text{ N} \quad (76)$$

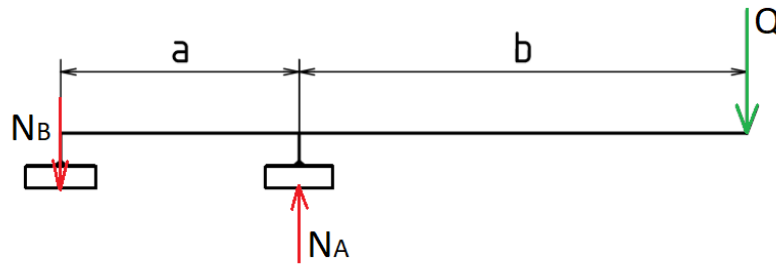
Materiál profilů-hliníková slitina 5083 (AlMg4,5Mn0,7):

- Mez pevnosti v tahu $R_m = 280 \text{ MPa}$
- Mez kluzu $R_e = \sigma_k = 140 \text{ MPa}$

Pro těleso 3 jsme se rozhodli použít plech obdélníkového profilu tloušťce $t_p = 10 \text{ mm}$ a tedy v rámci návrhu budeme hledat jeho minimální výšku, která postačí pro únosnost akumulátoru s chapadlem. Jako profil tělesa 2 se z konstrukčních důvodů použije

T profil. Je to z důvodu využití prostoru na jedné straně pro vodička a na druhé pro pohon. Jak jsem již zmínil v bodě 3.4.3, tak pohon mechanismu se bude nacházet právě na druhé straně (viz obrázek 41). Nejprve musíme provést uvolnění jednotlivých těles, abychom získali průběh ohybového momentu a zjistili maximální ohybový moment podél ramene.

3.4.3.2. Uvolnění tělesa 3



Obrázek 59. Schéma tělesa 3 [Vlastní zdroj]

Rovnice rovnováhy tělesa 3:

$$y: N_A - Q - N_B = 0 \quad (77)$$

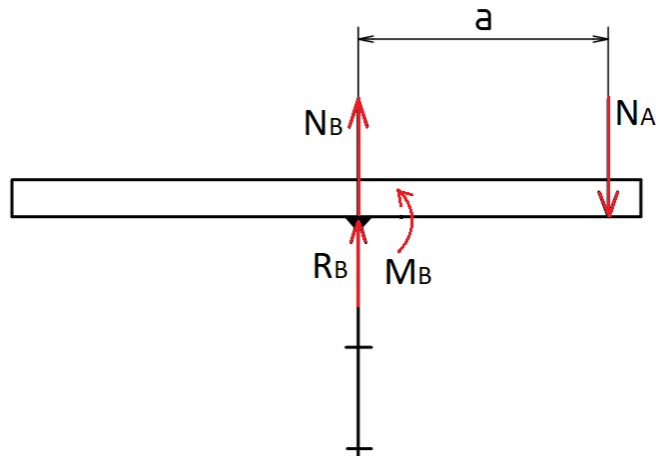
$$M_B: N_A \cdot a - Q \cdot (a + b) = 0 \quad (78)$$

Rovnice upravíme a získáme vzorce pro výpočet reakčních sil N_A a N_B .

$$N_A = \frac{Q \cdot (a + b)}{a} = \frac{78,48 \cdot (222,5 + 545)}{222,5} = 270,71 \text{ N} \quad (79)$$

$$N_B = N_A - Q = 270,71 - 78,48 = 192,23 \text{ N} \quad (80)$$

3.4.3.3. Uvolnění tělesa 2



Obrázek 60. Schéma tělesa 2 [Vlastní zdroj]

Pro realizaci uvolnění tělesa 2, je nutné si uvědomit podobnost s vetknutým nosníkem. Tedy kromě reakce ve vazbě R_B je nutné znát dále reakční moment M_B .

Rovnice rovnováhy tělesa 2:

$$y: N_B + R_B - N_A = 0 \quad (81)$$

$$M_B: M_B - N_A \cdot a = 0 \quad (82)$$

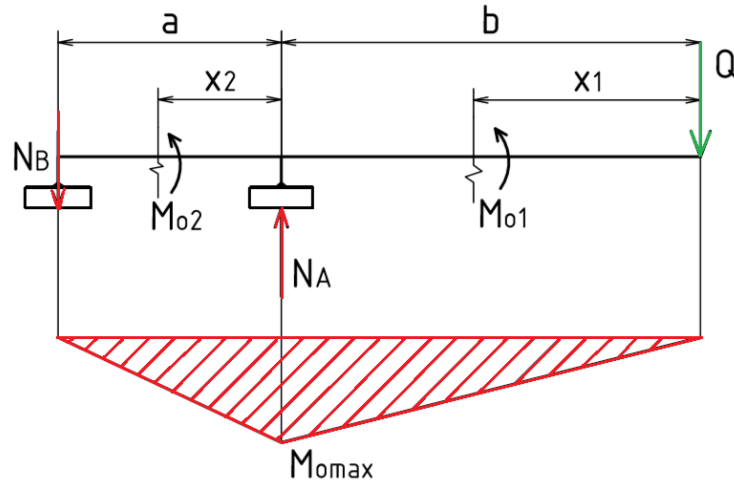
Z rovnic nám po úpravě vycházejí vzorce pro výpočet neznámých reakčních účinků.

$$R_B = N_A - N_B = 270,71 - 192,23 = 78,48 \text{ N} \quad (83)$$

$$M_B = N_A \cdot a = 270,71 \cdot 222,5 = 60233 \text{ Nmm} \quad (84)$$

3.4.3.4. Návrh profilu tělesa 3

Pro výpočet je nutné znát maximální moment působící na těleso. Z tohoto důvodu jsem zjišťoval průběh momentu (viz graf níže).



Obrázek 61. Průběh ohybového momentu podél tělesa 3 [Vlastní zdroj]

Pro výpočet vnitřních silových účinků jsem využil tzv. metodu řezu, kdy ohybový moment určíme do směru působení vnitřního ohybového momentu. Nosník jsem si rozdělil na 2 oblasti. Oblast I je v rozmezí pro $x_1 \in < 0; b >$ a část II se nachází v rozmezí pro $x_2 \in < 0; a >$.

Oblast I:

$$M_{o1} = -Q \cdot x_1 \text{ pro } x_1 \in < 0; b > \quad (85)$$

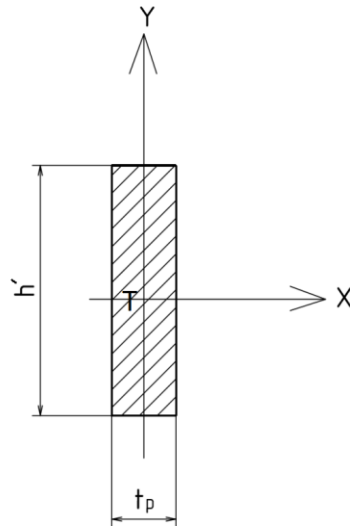
Oblast II:

$$M_{o2} = N_A \cdot x_2 - Q \cdot (b + x_2) \text{ pro } x_2 \in < 0; a > \quad (86)$$

Z rovnic je patrné, že maximální ohybový moment působí ve vazbě v místě A.

$$M_{o_{\max}} = |M_{o1}(x_1 = b)| = |-Q \cdot b| = |-78,48 \cdot 545| = 42771,6 \text{ Nmm} \quad (87)$$

Nyní známe všechny potřebné parametry pro návrh výšky obdélníkového profilu tělesa 3.



Obrázek 62. Profil průřezu tělesa 3 [Vlastní zdroj]

Profil je ohýbaný přes osu X, tedy osa X je neutrální osou. Bezpečnost volím $k = 2$.

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_{ox}} \leq \sigma_D = \frac{\sigma_k}{k} = \frac{140}{2} = 70 \text{ MPa} \quad (88)$$

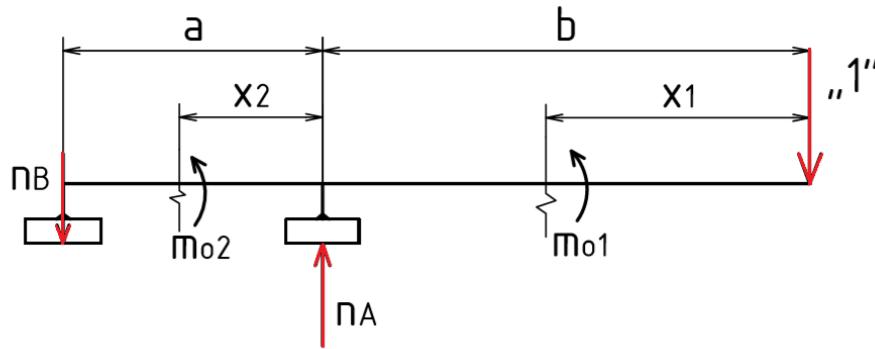
$$\begin{aligned} \sigma_D \geq \frac{M_{omax}}{W_{ox}} \rightarrow W_{ox} &= \frac{M_{omax}}{\sigma_D} \rightarrow \frac{1}{6} \cdot t_p \cdot h'^2 = \frac{M_{omax}}{\sigma_D} \rightarrow h' = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{omax}}{\sigma_D \cdot t_p}} \\ &= 19,15 \text{ mm} \end{aligned} \quad (89)$$

Z konstrukčního hlediska, kdy se musí na tento profil připevnit vozíčky pro pojezd, volím $h = 60 \text{ mm}$. Pro následný výpočet průhybu tělesa 3, bude nutné znát kvadratický moment průřezu J_x .

$$J_x = \frac{1}{12} \cdot t_p \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 10 \cdot 60^3 = 180000 \text{ mm}^4 \quad (90)$$

3.4.3.5. Výpočet maximálního průhybu tělesa 3

K výpočtu použiji znalost Mohrova integrálu, který nám umožní zjistit průhyb ve zvoleném místě. Je jasné, že maximální průhyb bude na konci ramene, tedy v místě působící síly Q. Princip spočívá v umístění fiktivní jednotkové síly v místě, kde chceme zjistit náš průhyb. Musíme opět zjistit vnitřní silové účinky od této síly. Po výpočtu budeme znát průhyb ve směru této síly. Můj výpočet následně porovná se zjednodušenou analýzou pomocí MKP a zhodnotím dosažené výsledky.



Obrázek 63. Zavedení fiktivní jednotkové síly v místě největšího průhybu tělesa 3 [Vlastní zdroj]

Pro zjištění vnitřních silových účinků je nutné znát reakce ve vazbách, proto musíme opět provést uvolnění tělesa pro nově zavedenou fiktivní jednotkovou sílu.

Rovnice rovnováhy tělesa 3:

$$y: n_A - 1 - n_B = 0 \quad (91)$$

$$M_B: n_A \cdot a - 1 \cdot (a + b) = 0 \quad (92)$$

$$n_A = \frac{1 \cdot (a + b)}{a} = \frac{1 \cdot (222,5 + 545)}{222,5} = 3,45 \quad (93)$$

$$n_B = n_A - 1 = 3,45 - 1 = 2,45 \quad (94)$$

Oblast I:

$$m_{o1} = -1 \cdot x_1 \text{ pro } x_1 \in < 0; b > \quad (95)$$

Oblast II:

$$m_{o2} = n_A \cdot x_2 - 1 \cdot (b + x_2) \text{ pro } x_2 \in < 0; a > \quad (96)$$

Výpočet průhybu tělesa 3 pomocí Mohrova integrálu

Pro výpočet pomocí Mohrova integrálu se využívá vzorec $v_i = \frac{1}{E \cdot J} \cdot \int_{(l)} M_{o(xi)} \cdot m_{o(xi)} \cdot d_{xi}$. Po dosazení našich vzorců do rovnice vznikne vztah pro výpočet průhybu v místě fiktivní jednotkové síly.

$$v_{max3} = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \left\{ \int_0^b M_{o1} \cdot m_{o1} \cdot d_{x1} + \int_0^a M_{o2} \cdot m_{o2} \cdot d_{x2} \right\} = \quad (97)$$

$$= \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \left\{ \int_0^b (-Q \cdot x_1) \cdot (-1 \cdot x_1) \cdot dx_1 + \int_0^a [N_A \cdot x_2 - Q \cdot (b + x_2)] \cdot [N_A \cdot x_2 - 1 \cdot (b + x_2)] \cdot dx_2 \right\}$$

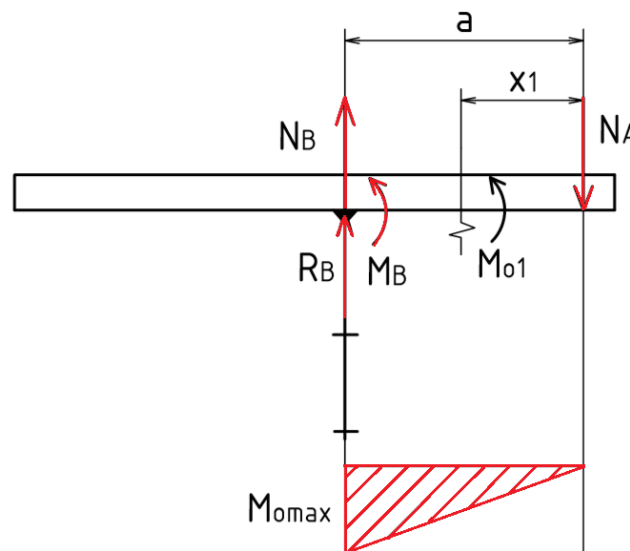
Integraci a úpravu zde nebudu rozvádět a uvedu zde pouze výsledek po integraci a následné úpravě.

$$v_{max3} = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \left\{ Q \cdot \frac{b^3}{3} + a^3 \cdot \left(\frac{3,45 \cdot N_A}{3} - \frac{N_A}{3} - \frac{3,45 \cdot Q}{3} + \frac{Q}{3} \right) + a^2 \cdot \left(-\frac{N_A \cdot b}{2} - \frac{3,45 \cdot Q \cdot b}{2} + Q \cdot b \right) \right\}$$

Po dosazení příslušných hodnot do vzorce, vyšel průhyb $v_{max3} = 0,473 \text{ mm}$

3.4.3.6. Kontrola tělesa 2

Jak už název kapitoly vypovídá, nebudu zde provádět samotný návrh profilu tělesa 2. Jak jsem již v bodě 3.4.3.1 poznamenal, bude z konstrukčních důvodů použit T profil s rozměry dle obrázku níže. Pro kontrolu bude nutné znát maximální ohybový moment působící na profil a modul průřezu v ohybu T profilu.



Obrázek 64. Průběh ohybového momentu podél tělesa 2 [Vlastní zdroj]

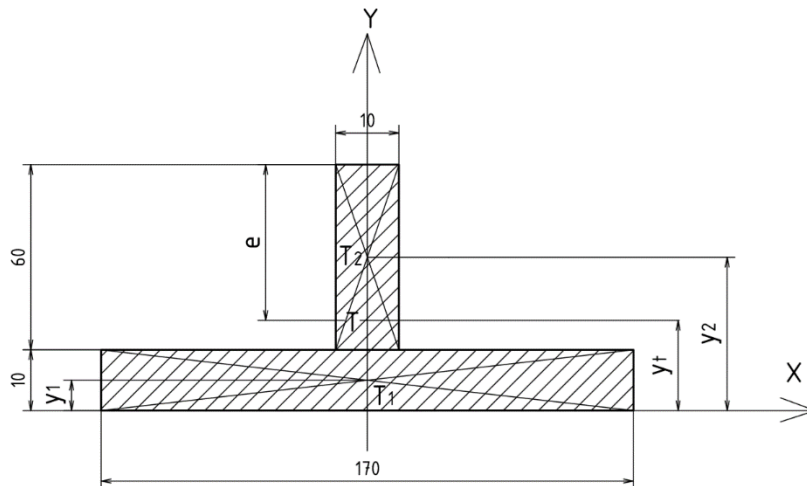
Pro výpočet vnitřních silových účinků jsem opět využil tzv. metodu řezu. Podél nosníku je pouze jedna oblast pro $x_1 \in \langle 0; a \rangle$.

Oblast I:

$$M_{o1} = -N_A \cdot x_1 \text{ pro } x_1 \in < 0; a > \quad (98)$$

Z rovnice vidíme, že maximální ohybový působící na těleso 2 se nachází v místě B tedy pro $x_1 = a$.

$$M_{omax} = |M_{o1}(x_1 = a)| = |-N_A \cdot a| = |-270,71 \cdot 222,5| = 60\,233 \text{ Nmm} \quad (99)$$



Obrázek 65. Profil průřezu tělesa 2 [Vlastní zdroj]

T profil je symetrický přes osu Y. Jeho těžiště se bude nacházet právě na této ose. Musíme tedy zjistit v jaké vzdálenosti od osy X. K tomu nám postačí jednoduchý výpočet s využitím statických momentů k ose X, kdy celý obrazec rozdělíme na 2 obdélníky.

$$y_T = \frac{S_1 \cdot y_1 + S_2 \cdot y_2}{S_1 + S_2} = \frac{170 \cdot 10 \cdot 5 + 60 \cdot 10 \cdot 40}{170 \cdot 10 + 60 \cdot 10} = 14,13 \text{ mm} \quad (100)$$

Nyní provedeme výpočet důležitých průřezových charakteristik zvoleného profilu. Pro výpočet kvadratického momentu průřezu využijeme Steinerovu větu $J_x = J_{x1} + S_1 \cdot a_1^2 + J_{x2} + S_2 \cdot a_2^2$, kdy a_i je vzdálenost těžiště T_i od těžiště celého tělesa T.

$$\begin{aligned} J_x &= J_{x1} + S_1 \cdot a_1^2 + J_{x2} + S_2 \cdot a_2^2 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 170 \cdot 10^3 + 170 \cdot 10 \cdot (14,13 - 5)^2 + \frac{1}{12} \cdot 10 \cdot 60^3 + 10 \\ &\quad \cdot 60 \cdot (40 - 14,13)^2 = 737\,427,54 \text{ mm}^4 \end{aligned} \quad (101)$$

Díky znalosti kvadratického momentu průřezu k ose x můžeme vypočítat hodnotu modulu průřezu v ohybu.

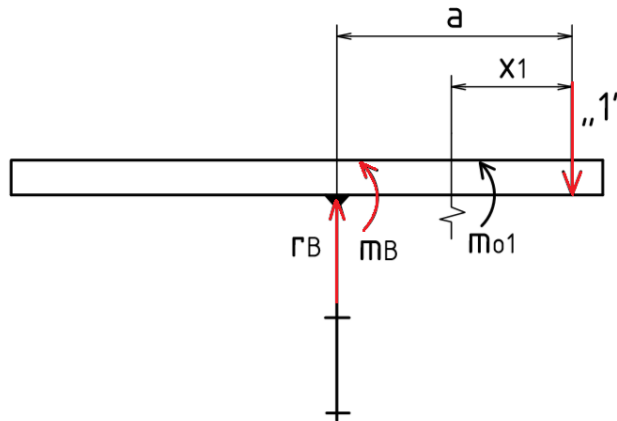
$$W_{ox} = \frac{J_x}{e} = \frac{737\,427,54}{70 - 14,13} = 13\,199 \text{ mm}^3 \quad (102)$$

V tuto chvíli známe všechny potřebné parametry pro kontrolu profilu. Stejně jako u návrhu profilu tělesa 3, bude dovolené napětí v ohybu $\sigma_D = 70 \text{ MPa}$.

$$\sigma_o = \frac{M_{o\max}}{W_{ox}} = \frac{60\,233}{13\,199} = 4,56 \text{ MPa} < 70 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (103)$$

3.4.3.7. Výpočet maximálního průhybu tělesa 2

Výpočet provedeme stejně jako u tělesa 3.



Obrázek 66. Zavedení fiktivní jednotkové síly v místě největšího průhybu tělesa 2 [Vlastní zdroj]

Pro určení vnitřních silových účinků není nutné zjišťovat nově vzniklé reakce, jelikož moment m_{o1} na nich nezávisí.

Oblast I:

$$m_{o1} = -1 \cdot x_1 \text{ pro } x_1 \in < 0; a > \quad (104)$$

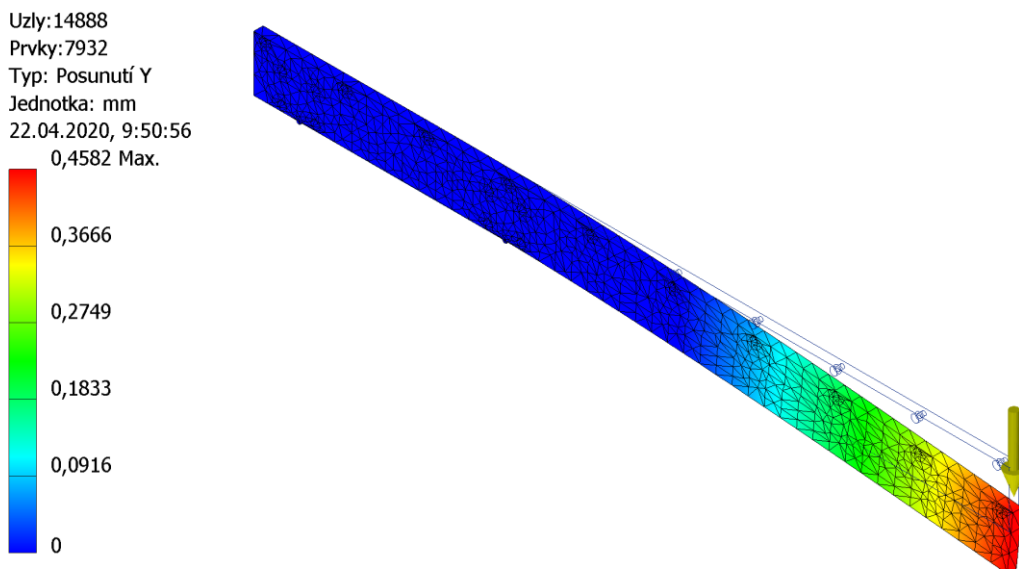
Výpočet průhybu tělesa 2 pomocí Mohrova integrálu

$$\begin{aligned} v_{\max 2} &= \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \left(\int_0^a M_{o1} \cdot m_{o1} \cdot dx_1 \right) \\ &= \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \left(\int_0^a (-N_A \cdot x_1) \cdot (-1 \cdot x_1) \cdot dx_1 \right) = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \left[\frac{N_A \cdot x_1^3}{3} \right]_0^a \\ &= \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \frac{N_A \cdot a^3}{3} = \frac{1}{70\,000 \cdot 737427,54} \cdot \frac{270,71 \cdot 222,5^3}{3} \\ &= 0,0193 \text{ mm} \end{aligned} \quad (105)$$

3.4.3.8. Analýza nosníků pomocí MKP

Pro ověření mého výpočtu jsem provedl zjednodušenou analýzu obou nosníků s využitím metody konečných prvků (dále jen MKP). Pevnostní analýza byla provedena v softwaru Inventor Professional 2020. V softwaru jsem zvolil síťování s průměrnou velikostí prvků 0,1 mm, což by pro pouhé ověření výpočtů mělo být dostatečné. Dle obrázků 59 a 60, byly zamezeny posuvy a rotace v místě vazeb, tedy v bodech A a B. Následně jsem zavedl síly působící na daná tělesa, tedy pro těleso 3 sílu Q a pro těleso 2 reakce N_A a N_B . Těleso 2 jsem řešil zjednodušeně, jako vetknutý nosník. Z tohoto důvodu byl navržen jednoduchý model, který danou situaci popisuje. Dále jsem nechal program vyhodnotit průběhy průhybů, které zde zhodnotím.

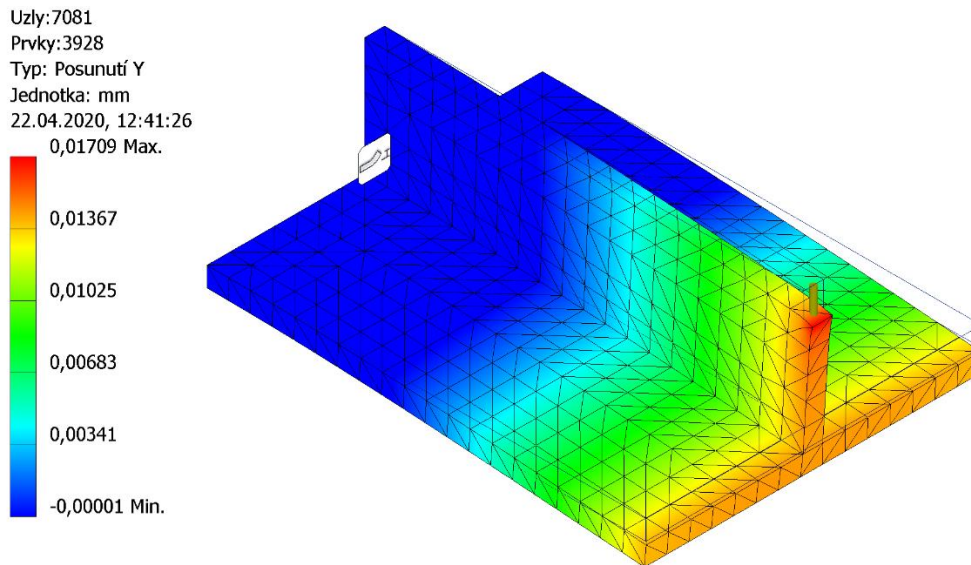
Analýza průhybu tělesa 3



Obrázek 67. Analýza průhybu tělesa 3 [Vlastní zdroj]

Z obrázku 67. je vidět, že maximální průhyb je v místě působící síly Q , přesně jak jsem předpokládal. Vedle tělesa je panel barev, který nám určuje průhyb v daném místě tělesa. Maximální průhyb vypočtený pomocí MKP vyšel $v_{max3(MKP)} = 0,4582 \text{ mm}$. Pomocí analytického výpočtu vyšel průhyb v místě působící síly $v_{max3} = 0,473 \text{ mm}$. Chyba ve srovnání s výpočtem pomocí MKP činí přibližně 3 %.

Analýza průhybu tělesa 2



Obrázek 68. Analýza průhybu tělesa 2 [Vlastní zdroj]

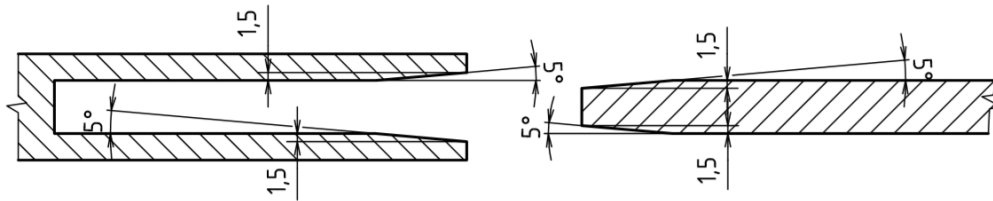
Na obrázku 68. je vidět, že maximální průhyb je v místě vazby A, tedy v místě působící síly N_A . Maximální průhyb dle panelu vedle obrázku činí $v_{max2(MKP)} = 0,01709 \text{ mm}$. Analytickým výpočtem vyšel maximální průhyb $v_{max2} = 0,0193 \text{ mm}$. Chyba výpočtu ve srovnání s analýzou pomocí MKP činí přibližně 11,5 %. Chyba je zde poměrně velká, ale pokud si uvědomíme, že se průhyb liší v rámci tisícín, pak byl výpočet poměrně přesný.

Zhodnocení výsledků a návrh parametrů nájezdu

Celkový maximální průhyb můžeme brát jako součet dílčích průhybů jednotlivých součástí. Je to z důvodu, že v bodě A tělesa 3 je nulový průhyb. To znamená, že v tomto místě je jediný průhyb, a to od tělesa 2. To lze dokázat výpočtem, kdy bychom zavedli jednotkovou fiktivní sílu do tohoto místa a provedli obdobný výpočet průhybu, jak tomu bylo u předešlých případů.

$$v_c = v_{max2} + v_{max3} = 0,473 + 0,0193 = 0,4923 \text{ mm} \quad (106)$$

Nyní známe celkový průhyb ramena ve vysunutém stavu, je tedy možné určit vhodnou úpravu nájezdů pro zakládání akumulátoru do dronu. S ohledem na teoretický výpočet průhybu, na vůle v pojezdech pro výsuv ramene, tolerance domečku pro axiální ložiska, který nám zde tvořil rám, tak je vhodné nájezdy upravit s rezervou, aby kompenzovaly také tyto důležité aspekty. Z těchto důvodů volím nájezdy pro zakládání akumulátoru do dronu s rezervou (viz obrázek 69).



Obrázek 69. Nákres provedení nájezdu pro zakládání baterie [Vlastní zdroj]

3.5. Konstrukce efektoru (chapadla)

Pod pojmem efektor se rozumí uchopovací hlavice neboli také chapadlo. To slouží jako pracovní orgán u manipulátorů nebo různých průmyslových robotů. Používají se různé druhy efektorů, podle toho, k čemu jsou určeny. Efektory rozdělujeme podle práce, ke které jsou určeny, na: úchopné, technologické, kombinované anebo speciální efektory. V našem případě bude použit úchopný efektor, který slouží k uchopování předmětů, jejich fixaci a přenášení. Samotná konstrukce efektorů je velmi různorodá a závisí převážně na tom, s jakým předmětem bude pracovat. Záleží na tvaru předmětu, jeho hmotnosti, materiálu, z kterého je předmět vyroben a také na drsnosti povrchu předmětu. Úchopné efektory můžeme rozdělit podle mnoha kritérií, z nichž nejlépe rozděluje uchopovací efektory způsob vyvození uchopovací síly. [38]

3.5.1. Podtlakové efektory

Podtlakové efektory se uplatňují převážně v aplikacích pro manipulaci s hladkými materiály, jako je sklo, plast atd. Využívá se zde přísavka, které se při přitlačení na materiál zdeformují, což vytlačí vzduch z vnitřního prostoru přísavky a tím vznikne podtlak mezi přísavkou a manipulovaným předmětem. Tím vznikne potřebná úchopná síla a následně je možné objekt přemístit na určené místo. K uvolnění se používají většinou ventily, které vyrovnají tlak okolí s vnitřním prostorem přísavky a díky tomu dojde k uvolnění předmětu. (viz obrázek 70) [38]

Tyto efektory patří k jedněm z nejpoužívanějších. Je to právě díky jednoduchému principu, na kterém pracují, rychlosti vyvození uchopovací síly a malé hmotnosti celé konstrukce efektoru.



Obrázek 70. Manipulátor s podtlakovým efektoem [40]

3.5.2. Magnetické efekty

Tyto efekty se používají v aplikacích, kde se manipuluje s feromagnetickými materiály. Nejčastěji můžeme manipulátory s magnetickými efekty vidět v hutním průmyslu, kde složí k přemísťování hutního materiálu, jako jsou plechy a pláty (viz obrázek 71). Pro vyvození potřebné úchopné síly se využívá buď permanentních magnetů nebo elektromagnetu. Úchopná síla je závislá na počtu magnetů a jejich síle. Nevýhodou použití efektoru s permanentním magnetem je nutnost zásahu vnější silou pro uvolnění přemísťovaného předmětu. Tento problém řeší použití elektromagnetů, kdy pro uvolnění předmětu je nutné pouze přerušit přívod proudu do elektromagnetu. Problém někdy nastává u menších předmětu, které zůstanou zmagnetované i po přerušení přívodu proudu. V takovýchto případech je nutné ještě předmět odmagnetovat. [38]

Další nevýhodou použití těchto efektorů je možnost přichycení kovových částic na magnetech. Ty by mohly poškodit přesouvaný předmět po přichycení a mohou také způsobit jeho nepřesné uchopení.



Obrázek 71. Manipulátor s magnetickým efektoem [39]

3.5.3. Mechanické efektory

Mechanické efektory jsou vybaveny pohyblivými čelistmi, kde se využívá buď rotačního, nebo posuvného pohybu. Při sevření čelistí dojde k uchopení předmětu a při zpětném pohybu, kdy se čelisti rozevírají, dojde k jeho uvolnění. Principiálně jsou tyto efektory velmi jednoduché. Pro manipulaci s předměty se používají efektory s dvěma nebo třemi aktivními prvky, což jsou pohyblivé části čelistí. K vyvození potřebného pohybu se používá pneumatický, hydraulický nebo elektrický pohon. Použití určitého typu pohonu závisí opět na aplikaci a prostředí ve kterém efektor pracuje. [38]

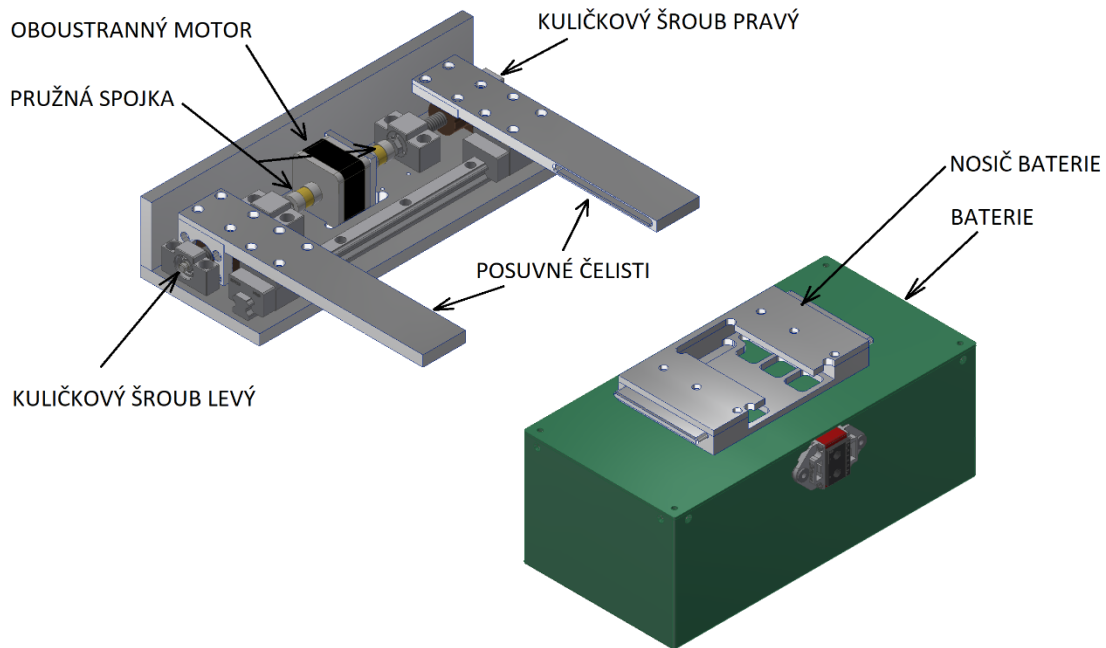
Používají se v aplikacích, kde není možné využít předešlé dva způsoby. Oproti nim se tyto efektory dají velmi dobře přizpůsobit uchopovanému objektu tím, že se upraví čelisti efektoru. K tomu se používají různá prizmatická lůžka (viz obrázek 72), či přesná tvarová lůžka, která tvoří negativ uchopovaného předmětu.



Obrázek 72. Manipulátor s mechanickým efektořem [41]

3.5.4. Použité řešení efektoru

Z důvodů manipulace s tvarovým předmětem a s ohledem na použité materiály nosiče akumulátoru, který bude ze slitiny hliníku, právě kvůli zajištění co nejmenší hmotnosti dronu, jsem se rozhodl navrhnout mechanický efektor pro manipulaci s akumulátorem. Efektor se skládá ze dvou posuvných čelistí, které při svírání uchopí akumulátor a následně může dojít k výsuvu akumulátoru z dronu/zásobníku. Po rozevření čelistí se akumulátor opět uvolní. Na obrázku 73. můžeme vidět, že jsem využil „oboustranný“ motor, který nám zajistí souběžný pohyb obou čelistí a díky tomu nebude nutné použít 2 separované motory pro zajištění pohybu. Pro realizaci tohoto pohybu je nutné, aby kuličkové šrouby, ovládající čelisti, byly vyrobené jeden s pravým závitem a druhý s levým závitem. Díky této konstrukci bude jednodušší řízení efektoru, ale oproti tomu bude náročnější montáž, která musí zajistit přesnou polohu čelistí vůči nosiči akumulátoru.



Obrázek 73. Koncept efektoru pro manipulaci s baterií [Vlastní zdroj]

Hrany čelistí musely být upraveny obdobně jako nájezdy pro zakládání akumulátoru do dronu. Zkosení hran nemusí být tak velké, jako tomu bylo u hran nájezdů, jelikož na rameno působí pouze síla od hmotnosti efektoru.

Na obrázku 73. si můžeme povšimnout oblého tvaru vybrání pro uchycení akumulátoru, který tvoří negativ výstupků na nosiči akumulátoru. Zvolil jsem je takto z důvodu jednoduché výroby a účelného použití u tohoto zařízení. Bylo by možné zvolit také prizmatický tvar čelistí, ale z důvodu jednodušší a levnější výroby jsem zvolil právě tento tvar.

Nosič akumulátoru jsem musel modifikovat, jelikož je nutné zajistit co nejmenší váhu celého dronu. Nosič akumulátoru tedy nemohl být z plného materiálu a bylo nutné provést jeho odlehčení, s ohledem na zachování pevnosti a tuhosti.

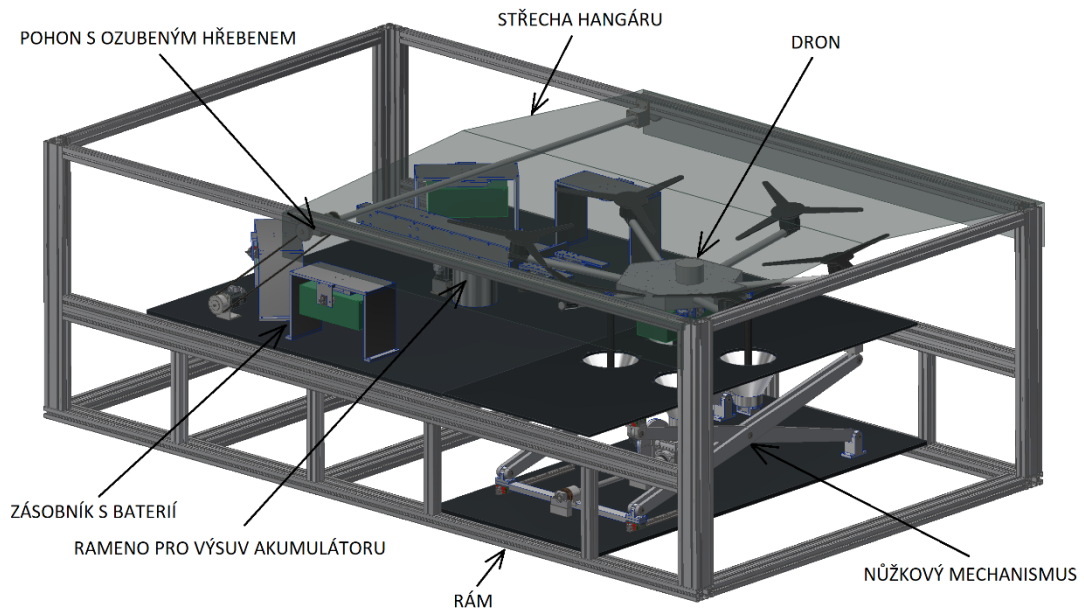
4. Závěr

V úvodu práce je uvedeno krátké seznámení s návrhem dokovací stanice, problémy, které návrh s sebou nese a možnosti konceptů různých výrobců.

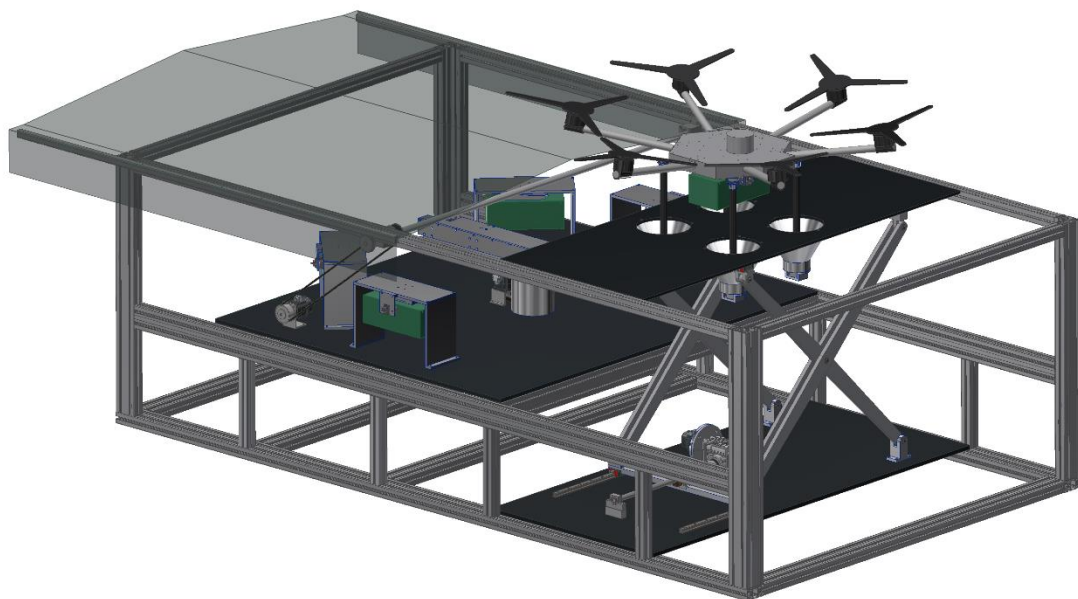
V teoretické části je provedena rešerše jednotlivých návrhů od různých výrobců dokovacích stanic, jejich použitá konstrukční řešení a následné zhodnocení a výběr optimálního řešení pro tuto dokovací stanici. Dále jsou zde uvedeny možnosti využití dokovací stanice v různých odvětvích a možné výhody, které by s použitím dokovací stanice souvisely.

Po výběru optimálního řešení celého konceptu dokovací stanice, jsem v praktické části rozebral problematiku návrhu jednotlivých podsestav dokovací stanice, které jsou rozděleny na okruhy podle nejdůležitějších pohybů v dokovací stanici. V první části jsou uvedeny možnosti otevírání střechy hangáru (viz obrázek 74 a 75) a jejich konstrukční řešení. Následně jsem se pomocí bodovací metody rozhodl, které řešení bude optimální pro naši stanici. Poté jsem podrobněji popsal vybrané konstrukční řešení a následně jsem provedl jeho návrh, včetně nezbytných výpočtů. Dále jsem rozebral problematiku výsuvu přistávací plošiny a uvedl různé možnosti řešení. Obdobně jako v předešlé části jsem použil bodovací metodu pro výběr vhodného řešení, které jsem podrobněji rozebral. Pomocí zadaných parametrů jsem provedl výpočet sil působících na nůžkový mechanismus. Určil jsem nejvíce namáhaná místa a provedl návrh čepových spojů. Popsal jsem problematiku namáhání pohybového šroubu, včetně sil působících na ložiska, ve kterých je uložený, v závislosti na výsuvu plošiny. Jelikož je plošina většinu času v zasunuté poloze, bylo nutné veškeré součásti dimenzovat na sílu, která zde působí. Následně jsem navrhl pohon, který by bylo možné použít pro výsuv plošiny. V další části mé práce jsem se zabýval řešením ramena pro výsuv akumulátoru z těla dronu, kde jsem uvedl různá řešení manipulátorů použitelná v našem konceptu. Opět jsem pomocí bodovací metody rozhodl o vhodném řešení, které jsem následně navrhl. Pro návrh bylo nutné znát maximální ohybový moment, který působil na jednotlivá tělesa a z jeho znalosti jsem určil rozměry použitých profilů jednotlivých těles. Z důvodu poměrně velkého výsuvu jsem dále vypočítal maximální průhyb ramena, aby bylo možné adekvátně upravit nájezdy pro zakládání akumulátoru do těla dronu. Analytický výpočet jsem porovnal s výpočtem pomocí MKP, kde u tělesa číslo 3 se liším přibližně o 3 % a u tělesa číslo 2 o 11,5 %. V poslední části jsem nastínil konstrukce efektorů a popsal navržený efektor, který se použije v této dokovací stanici.

Celkový koncept dokovací stanice pro drony zahrnuje všechny řešené dílčí pohony (viz obrázek 74 a 75), které jsou zasazeny do rámu. Mohlo by se zdát, že v rámu je příliš mnoho nevyužitého místa, ale pokud si uvědomíme, že ve stanici se dále bude nacházet rozvaděč pro elektroniku a klimatizační jednotka, která bude uvnitř stanice udržovat konstantní teplotu, aby akumulátory měly co nejdelší životnost, pak se toto místo dále zužitkuje. Celá dokovací stanice bude následně oplechována a opatřena izolací, aby se zvýšila účinnost klimatizace. Oplechování bude sloužit jak proti nepříznivým klimatickým podmínkám, tak proti neoprávněnému lidskému zásahu.



Obrázek 74. Celkový koncept dokovací stanice-uzavřený [Vlastní zdroj]



Obrázek 75. Celkový koncept dokovací stanice-otevřený [Vlastní zdroj]

Cílem byl návrh autonomní platformy pro přistání dronu, do které patřil návrh dílčích pohonů a pohybů pro manipulaci s bezpilotním prostředkem a výměna pohonných akumulátorů dronu, což má práce obsahovat. Musíme brát v úvahu, že se jedná o prototyp takovéto stanice, což s sebou nese rizika dodatečných úprav, jak u jednotlivých dílů, tak u celého mnou navrženého konceptu.

Jednalo se o velmi komplexní návrh, který mě mnohdy zavedl do slepé uličky, ale díky konzultacím s vedoucím práce a s odborníky ze společnosti NST HK a společnosti Agentfly, jsem se s tímto náročným úkolem vypořádal.



Seznam použité literatury

- [1] Skysense [online]. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://www.skysense.co/skyport>
- [2] Airobotics [online]. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://www.airoboticsdrones.com>
- [3] Jamcopters [online]. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://jamcopters.cz>
- [4] Drony do každého kraje. Policie se chystá rozšířit stávající flotilu [online]. 10. června 2018 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/drony-policie-nakup.A180605_095753_domaci_PAS
- [5] MALÍK, David. Tudy z Prahy do Ústí a Drážďan. Unikátní záběry úklidu závalu na D8 [online]. 24. září 2015 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://www.blesk.cz/clanek/zpravy-udalosti/345296/tudy-z-prahy-do-usti-a-drazdan-unikatni-zabery-uklidu-zavalu-na-d8.html>
- [6] Agentfly [online]. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://www.agentfly.com/aerial-work-automation>
- [7] Azurdrones [online]. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://www.azurdrones.com/>
- [8] Pohybové šrouby [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.com/2011/04/2114-pohybove-srouby.html>
- [9] [Lineární jednotky: 8 výhod ozubeného hřebenu a pastorku [online]. 28. března 2018 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://www.apexdynaczech.cz/linearni-jednotky-8-vyhod-ozubeneho-hrebenu-pastorku/>
- [10] SADA PRO ELEKTRICKY OVLÁDANOU BRÁNU DO 5 METRŮ-KIT POSUV 5 SZ [online]. In: . [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://dobes.eu/prislusenstvi-k-pojezdovym-branam/sada-pro-elektricky-ovladanou-branu-do-5-metru-kit-posuv-5-sz>
- [11] Možnosti instalace rolet [online]. In: . [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.stojan.cz/cz/rolety/venkovni-rolety#prettyPhoto>
- [12] Garážová vrata lamelová posuvná [online]. In: . [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.brany-oploceni.cz/fotoall/>
- [13] Kloubový mechanismus [online]. [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1909>
- [14] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [15] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. Části strojů. 5. přeprac. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. Česká matice technická. ISBN 80-03-00426-8.
- [16] Zdviháky [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1917>
- [17] NŮŽKOVÝ MECHANISMUS ZDVIHACÍ PLOŠINY. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.
- [18] Hřebenový zvedák [online]. In: . [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <http://www.mape.sk/sk/hrebenove-zdvihaky/113-pfaff-sj-ozubnicovy-hrebenovy-zdvihak.html>
- [19] Šroubový zvedák [online]. In: . [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://m.technikaatrh.cz/manipulacni-technika/nerezove-sroubove-zvedaky-pro-linearni-pohyb-bez-koroze>



- [20] Hydraulický zvedák [online]. In: . [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.b2bpartner.cz/hydraulicky-zvedak-gsh-20t/>
- [21] Zvedací plošina Ameise® s jednoduchým nůžkovým mechanismem [online]. In: . [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich-profishop.cz/Zvedaci-plosina-Ameise-sjednoduchym-nuzkovym-mechanismem-24245-167633/?jumpTo=images&Shop=b2c>
- [22] Výklopný návěs. In: MEDITERRANEAN INDUSTRIAL GROUP [online]. [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: http://www.mig.com.tn/Fr/secteurs-deactivites_107_58_D14_DP50
- [23] TOLIMAT, Rani. Nahradí drony silnice a železnice? [online]. 1. června 2018 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://www.svetchytre.cz/a/i8Fmx/jonathan-ledgard-nahradi-drony-silnice-a-zeleznice>
- [24] CO JSOU LINEÁRNÍ OSY, LINEÁRNÍ JEDNOTKY A LINEÁRNÍ VEDENÍ? [online]. 18. září 2018 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://shop.eufactory.com/blog/18_linearni-osy-jednotky-vedeni
- [25] FEIST, Jonathan. Společnost Atlas Pro oznámila, že je připravena převzít autonomní robotické operace [online]. 13. září 2017 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://dronerush.com/atlas-pro-autonomous-commercial-drone-10422/>
- [26] Potenciál využití dronů v Armádě České republiky [online]. 28. 01. 2015 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <http://www.ozbrojeneslozky.cz/clanek/potencial-vyuziti-dronu-v-armade-ceske-republiky>
- [27] Armáda chce častěji využívat drony, pomůžou mapovat terén [online]. 19. 5. 2015 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/domaci/ceska-armada-pocita-s-hojnejsim-vyuzitim-bezpilotnich-dronu/r~1f92615cfe2411e4bfa2002590604f2e/>
- [28] BIKAR METALLE: Ako si vybrat správnou zliatinu bronzu? [online]. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <http://www.bikar.cz/info/ako-si-vybrat-spravnu-ziatinu-bronzu>
- [29] ŠVEC, Vladimír. Části a mechanismy strojů: příklady. Vyd. 3. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-010-2157-2.
- [30] HABERKORN: Trapézová matice s přírubou bronzová [online]. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: https://eshop.haberkorn.cz/trapezova-matice-s-prirubou-bronzova.html?force_sid=43e2d9a69d824e88a4defd54a75f40b1
- [31] Coroll: Pružné spojky s pryžovými elementy STEPFLEX [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.coroll.cz/pruzne-spojky-s-pryzovymi-elementy-stepflex.html>
- [32] Raveo: Servomotory [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/servomotory-moons/sm060>
- [33] Hiwin: Ložiskové domečky EK [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/>
- [34] Valivá ložiska: Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem [online]. 2005 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://www.coroll.cz/files/001_katalogy_nsk/katalog-valiva-loziska-nsk-cz-.pdf
- [35] Prof. Ing. Milan Vrožina, CSc., Doc. Ing. Jiří David, Ph.D. a Ing. Romana Garzinová, Ph.D. AUTOMATIZACE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ: Průmyslové roboty a

- manipulátory [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: http://katedry.fmmi.vsb.cz/Opory_FMMI/638/638-Vrozina-Prumyslove-roboty-a-manipulatory.pdf. Studijní opora. TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA.
- [36] NORMALIE CZECH s.r.o.: Jednoúčelové stroje [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <http://www.normalieczech.cz/produkty/jednoucelovestroje/>
- [37] KOHOUT, Ing. Luděk. Roboty a manipulátory [online]. In: . s. 27 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf
- [38] NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU PRO PRŮMYSLOVÝ ROBOT [online]. Brno, 2016 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=127867. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Budík.
- [39] Kompaktní 24V chapadlo s permanentním elektromagnetem s integrovaným elektrickým systémem [online]. In: . říjen 2018 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/novinky/highlights/tiskove-zpravy/article/5442-kompaktni-24v-chapadlo-s-permanentnim-elektromagnetem-s-integrovanym-elektrickym-systemem/
- [40] Vakuum-Sauggreifer für Holz- und Möbelteile [online]. In: . 22.03.2008 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.pressebox.de/pressemitteilung/j-schmalz-gmbh/Vakuum-Sauggreifer-fuer-Holz-und-Moebelteile/boxid/162092>
- [41] Chapadlo SCHUNK PGN-plus-P a jeho digitálně poháněná verze PGN-plus-E [online]. In: . 13. Červenec 2017 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/komponenty/chapadlo-schunk-pgn-plus-p-a-jeho-digitalne-pohanena-verze-pgn-plus-e>

Seznam obrázků

Obrázek 1. Schéma dronu se základními rozměry [Vlastní zdroj]	2
Obrázek 2. Vnitřní uspořádání [1]	3
Obrázek 3. Vnější vzhled [1]	3
Obrázek 4. Vnější vzhled platformy [2].....	4
Obrázek 5. Výměna akumulátoru dronu [2]	4
Obrázek 6. Droneport od firmy Azur drones [7].....	5
Obrázek 7. Výsuv dronu [25]	6
Obrázek 8. Otevírání hangáru [25]	6
Obrázek 9. Inspekce větrné elektrárny [3]	7
Obrázek 10. Kontrola úniku topného media [3]	7
Obrázek 11. Využití dronu u policie [4]	8
Obrázek 12. Kontrola pozemních prací [5]	8
Obrázek 13. Letecké mapování krajiny [6]	8
Obrázek 14. 3D modelování snímku [6].....	8
Obrázek 15. Lékařský dron [23]	9
Obrázek 16. Mapování terénu pro výsadek [26]	9
Obrázek 17. Testování dronu armádou [27].....	9
Obrázek 18. Pohled na otevírání střechy [7]	11
Obrázek 19. Uspořádání pohybového šroubu [9].....	11
Obrázek 20. Ozubený hřeben s pastorkem [9]	12
Obrázek 21. Koncepce Posuvné brány [10]	12
Obrázek 22. Uspořádání rolovací rolety [11]	13
Obrázek 23. Výsuvná garážová vrata [12]	13

Obrázek 24. Lineární osa s příslušenstvím [24]	13
Obrázek 25. Vyžití osy u malé frézky [24]	13
Obrázek 26. Náčrt čtyřkloubového mechanismu [Vlastní zdroj]	14
Obrázek 27. Základní profil ozubeného hřebene [15]	16
Obrázek 28. Koncept otevírání střechy hangáru [Vlastní zdroj]	17
Obrázek 29. Základní rozměry pastorku [15].....	18
Obrázek 30. Hydraulický Nůžkový zvedák [21]	22
Obrázek 31. Nůžkový zvedák s břemenem [21].....	22
Obrázek 32. Hřebenový zvedák-schéma [16]	23
Obrázek 33. Hřebenový zvedák [18].....	23
Obrázek 34. Šroubový zvedák [19]	23
Obrázek 35. Výklopný návěš [22]	24
Obrázek 36. Hydraulický zvedák [20].....	24
Obrázek 37. Koncepční návrh nůžkového mechanismu	26
Obrázek 38. Schéma nůžkového mechanismu [Vlastní zdroj]	28
Obrázek 39. Schéma tělesa 2 [Vlastní zdroj]	29
Obrázek 40. Schéma tělesa 3 [Vlastní zdroj]	29
Obrázek 41. Schéma tělesa 4 [Vlastní zdroj]	30
Obrázek 42. Schéma tělesa 5 [Vlastní zdroj]	30
Obrázek 43. Schéma tělesa 6 [Vlastní zdroj]	31
Obrázek 44. Nákres sil působících na čep [Vlastní zdroj]	33
Obrázek 45. Trapézová matice s přírubou [30]	37
Obrázek 46. Schéma pohonu pro výsuv plošiny [Vlastní zdroj].....	39
Obrázek 47. Radiálně axiální uložení pohybového šroubu [33]	41
Obrázek 48. Párované ložisko s kosoúhlým stykem [34]	42
Obrázek 49. Manipulátor zkumavek [36]	44
Obrázek 50. Náčrt pohybů v kartézském souřadnicovém systému [Vlastní zdroj]	44
Obrázek 51. Manipulátor s kartézským pracovním prostorem [37].....	44
Obrázek 52. Náčrt možných pohybů v cylindrickém souřadnicovém systému [Vlastní zdroj]	45
Obrázek 53. Manipulátor s cylindrickým pracovním prostorem [37].....	45
Obrázek 54. Náčrt varianty A [Vlastní zdroj]	46
Obrázek 55. Náčrt varianty B [Vlastní zdroj].....	46
Obrázek 56. Náčrt varianty C [Vlastní zdroj].....	47
Obrázek 57. Koncepční návrh ramena pro manipulaci s baterií [Vlastní zdroj].....	48
Obrázek 58. Schematický nákres ramena pro manipulaci s baterií [Vlastní zdroj].....	49
Obrázek 59. Schéma tělesa 3 [Vlastní zdroj]	50
Obrázek 60. Schéma tělesa 2 [Vlastní zdroj]	51
Obrázek 61. Průběh ohybového momentu podél tělesa 3 [Vlastní zdroj].....	52
Obrázek 62. Profil průřezu tělesa 3 [Vlastní zdroj]	53
Obrázek 63. Zavedení fiktivní jednotkové síly v místě největšího průhybu tělesa 3 [Vlastní zdroj]	54
Obrázek 64. Průběh ohybového momentu podél tělesa 2 [Vlastní zdroj].....	55
Obrázek 65. Profil průřezu tělesa 2 [Vlastní zdroj]	56
Obrázek 66. Zavedení fiktivní jednotkové síly v místě největšího průhybu tělesa 2 [Vlastní zdroj]	57
Obrázek 67. Analýza průhybu tělesa 3 [Vlastní zdroj]	58
Obrázek 68. Analýza průhybu tělesa 2 [Vlastní zdroj]	59
Obrázek 69. Nákres provedení nájezdu pro zakládání baterie [Vlastní zdroj].....	60
Obrázek 70. Manipulátor s podtlakovým efektoem [40]	61
Obrázek 71. Manipulátor s magnetickým efektoem [39]	61
Obrázek 72. Manipulátor s mechanickým efektoem [41].....	62
Obrázek 73. Koncept efektoru pro manipulaci s baterií [Vlastní zdroj].....	63
Obrázek 74. Celkový koncept dokovací stanice-uzavřený [Vlastní zdroj].....	65
Obrázek 75. Celkový koncept dokovací stanice-otevřený [Vlastní zdroj].....	65

Seznam tabulek

Tabulka 1. Hodnocení jednotlivých variant otevírání hangáru	15
Tabulka 2. Výstupní hodnoty bezpečností z programu KissSoft	20
Tabulka 3. Hodnocení jednotlivých variant zdvihání plošiny	25
Tabulka 4. Hodnocení jednotlivých variant manipulátorů	47

Seznam zkratk a symbolů

Značka	Název	Jednotka
p	Rozteč	[mm]
m	Modul ozubení	[mm]
h_a	Výška hlavy zubu	[mm]
h_f	Výška paty zubu	[mm]
s	Šířka zubu	[mm]
e	Šířka zubové mezery	[mm]
c	Radiální vůle	[mm]
r_f	Poloměr paty zubu	[mm]
z_p	Počet zubů pastorku	[-]
z_h	Počet zubů hřebenu	[-]
d	Průměr roztečné kružnice	[mm]
d_b	Průměr základní kružnice	[mm]
d_a	Průměr hlavové kružnice	[mm]
d_f	Průměr patní kružnice	[mm]
b_p	Šířka pastorku	[mm]
b_h	Šířka hřebenu	[mm]
l_h	Délka hřebenu	[mm]
l_s	Délka výsuvu střechy	[mm]
n_m	Otáčky motoru	[ot/min]
M_k	Kroutící moment	[Nm]
P	Výkon	[kW]
ω	Úhlová rychlost	[rad/s]
n_{min}	Minimální otáčky elektromotoru	[ot/min]
i	Převodový poměr	[-]
t_{max}	Maximální doba pohybu	[s]
t_s	Doba práce mechanismu bez servisu	[h]
v_h	Rychlost hřebenu	[m/s]
S_F	Bezpečnost zubů v ohybu	[-]
S_H	Bezpečnost boku zubů v dotyku	[-]
S_W	Bezpečnost proti opotřebení	[-]
S_{del}	Bezpečnost proti deformaci zubů	[-]
m_d	Hmotnost desky pod dron	[kg]

V	Objem materiálu	$[m^3]$
S	Plocha průřezu	$[m^2]$
ρ_{Al}	Hustota hliníku	$[kg/m^3]$
m_{dr}	Hmotnost dronu	$[kg]$
m_k	Hmotnost kónusu	$[kg]$
l_2	Délka tělesa 2	$[mm]$
l_3	Délka tělesa 3	$[mm]$
l_q	Rozteč nožiček dronu	$[mm]$
l_{dr}	Vzdálenost nožičky dronu od vazby B	$[mm]$
m_2	Hmotnost tělesa 2	$[kg]$
m_3	Hmotnost tělesa 3	$[kg]$
l_p	Vzdálenost v závislosti na úhlu β	$[mm]$
Q_{dr}	Zatěžující síla od dronu	$[N]$
Q_d	Zatěžující síla od desky pod dron	$[N]$
G_2	Síla od tělesa 2	$[N]$
G_3	Síla od tělesa 3	$[N]$
g	Tíhové zrychlení	$[kg/s^2]$
R_{iX}	Reakční síla v místě i ve směru x	$[N]$
R_{iY}	Reakční síla v místě i ve směru Y	$[N]$
R_i	Reakce v místě i	$[N]$
N_i/n_i	Normálová reakce v místě i	$[N]$
M_i/m_i	Reakční moment v místě i	$[N]$
R_m	Mez pevnosti v tahu	$[MPa = N/mm^2]$
R_e	Mez kluzu	$[MPa = N/mm^2]$
p_d	Dovolený tlak	$[MPa = N/mm^2]$
k	Bezpečnost	$[-]$
σ_D	Dovolené normálové napětí	$[MPa = N/mm^2]$
M_o	Ohybový moment	$[MPa = N/mm^2]$
σ_o	Ohybové napětí	$[MPa = N/mm^2]$
W_o	Modul průřezu v ohybu	$[mm^3]$
W_k	Modul průřezu v krutu	$[mm^3]$
J_x	Kvadratický moment průřezu	$[mm^4]$
S_i	Statický moment tělesa i	$[mm^2]$
d_{ξ}	Průměr čepu	$[mm]$
τ_D	Dovolené tečné napětí	$[MPa = N/mm^2]$
τ_s	Tečné napětí	$[MPa = N/mm^2]$
p	Tlak	$[MPa = N/mm^2]$
H_1	Nosná hloubka závitu	$[mm]$
d/D	Velký průměr závitu	$[mm]$
d_1/D_1	Malý průměr závitu	$[mm]$

d_2/D_2	Střední průměr závitu	[mm]
d_3	Malý průměr šroubu	[mm]
z	Počet závitů	[-]
ψ_H	Součinitel pracovní výšky závitu	[-]
ψ_h	Součinitel výšky matice	[-]
γ	Úhel stoupání závitu	[°]
β	Úhel sklonu závitu	[°]
β_n	Úhel boku profilu závitu	[°]
φ'	Třecí úhel	[°]
σ_{red}	Redukované napětí	[MPa = N/mm ²]
L_{ξ}	Výsuv pohybového šroubu	[mm]
v_p	Rychlost posuvu	[m/s]
n_{ξ}	Otáčky pohybového šroubu	[ot/min]
η	Účinnost	[%]
C_0	Statická únosnost	[N]
C	Dynamická únosnost	[N]
F_r	Radiální síla	[N]
F_a	Axiální síla	[N]
S_0	Statická bezpečnost	[-]
P_0	Statické ekvivalentní zatížení	[N]
P_e	Dynamické ekvivalentní zatížení	[N]
L_h	Trvanlivost ložiska	[h]
l_r	Výsuv ramena	[mm]
a	Vzdálenost mezi vozíčky	[mm]
b	Vzdálenost efektoru od bodu A	[mm]
m_e	Hmotnost efektoru	[kg]
m_b	Hmotnost akumulátoru	[kg]
Q	Síla zatěžující rameno	[N]
V_{maxi}	Maximální průhyb tělesa i	[mm]

Seznam příloh

- 1) 3D model stanice v programu Autodesk Inventor 2020 (elektronická příloha)
- 2) Výpočet ozubeného hřebenu v programu KissSoft (elektronická příloha)
- 3) Výpočet odporu prostředí vůči pohybu hřebenu (elektronická příloha)
- 4) Výrobní výkres šroubu pro výsuv plošiny
- 5) Podsestava nůžkového mechanismu
- 6) Kusovník pro podsestavu nůžkového mechanismu
- 7) Sestava dokovací stanice pro drony
- 8) Kusovník pro sestavu dokovací stanice pro drony