

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

POJEZDOVÉ A ZVEDACÍ ZAŘÍZENÍ TRAVELING AND LIFTING MECHANISM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Adam HUSÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří MALÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2011

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na pojezdová a zvedací zařízení určená pro přepravu vrtulníků BELL mezi letištní plochou a hangárem. První část je věnována přehledu a zhodnocení významných výrobců podobných zařízení. Dále je proveden rozbor možných mechanismů zařízení a následná volba vhodného řešení. Druhá část pojednává o konstrukčním návrhu a výpočtech. Součástí je výkres navrženého zařízení. Toto zařízení je definováno nosností do 2000 kg a zdvihem 80 mm.

Klíčová slova

vrtulník; BELL; pojezdové a zvedací zařízení; 2000 kg; 80 mm; ližiny; hangár; manipulace; plocha letiště

Abstract

This bachelor's thesis is aimed on traveling and lifting device designed for transportation of BELL helicopters between tarmac and hangar. The first part is devoted to review and evaluation general producers of similar devices. Furthermore there are analysis of possible mechanisms and subsequent choice of appropriate solution. The second part deals with design solution and calculations. Includes drawing of designed device. This device is defined by load capacity up to 2000 kg and stroke 80 mm.

Key words

helicopter; BELL; traveling and lifting device; 2000 kg; 80 mm; skids; hangar; manipulation; tarmac

Bibliografická citace

HUSÁK, A. *Pojezdové a zvedací zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 68 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jíří Malášek, Ph.D..

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D a s použitím uvedené literatury.

V Brně, dne

Podpis:

Poděkování

Rád bych touto cestou chtěl poděkovat mému vedoucímu za příkladné a bezproblémové vedení při přípravě mé bakalářské práce, za vytrvalost, se kterou především pan doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D. odpovídal na mé nesčetné otázky a za udělené rady, které mi napomohly tuto bakalářskou práci dokončit. Dále děkuji svým rodičům za podporu při studiu na vysoké škole a v životě vůbec.

Obsah

1 Úvod	9
2 Vrtulníky BELL	10
2.1 Výrobce vrtulníků BELL.....	10
2.2 Vrtulníky do 2000 kg	10
2.2.1 Vrtulník Bell 206B3 JetRanger III.	10
2.2.2 Vrtulníky Bell 206L LongRanger.....	11
3 Výrobci a jejich podobná zařízení.....	13
3.1 Mototok International GmbH [4]	13
3.1.1 Model Helimo.....	13
3.2 Helitowcart Inc. [5].....	16
3.2.1 Tažné vozíky a jejich příslušenství	16
3.2.2 HeliCarrier a příslušenství	18
3.3 Paravion Technology Inc. [6].....	19
3.3.1 Heliporter HP150	20
3.3.2 Heliporter HP200	21
3.3.3 Heliporter HP250	22
3.3.4 Heliporter HP250G2	22
3.4 Chopper Spotter [7].....	23
3.4.1 model E	25
3.4.2 model MS	25
3.4.3 model 4.....	26
3.5 Zhodnocení	26
4 Rozbor možných mechanismů	28
4.1 Mechanizmy zdvihu.....	28
4.1.1 Provedení s jednoduchým rámem.....	28
4.1.1 Provedení s děleným rámem.....	31
4.2 Mechanizmy pojezdu	32
4.2.1 Pásové podvozky	32
4.2.2 Kolové podvozky [8]	33
4.2.3 Mechanismus natáčení.....	33
4.2.4 Pohon pojezdu.....	36
4.3 Uchycení vrtulníku.....	36

5 Volba mechanismů	38
5.1 Požadavky.....	38
5.2 Pojezdový mechanismus	38
5.3 Mechanismus zdvihu a uchopení.....	39
5.4 Zvolené provedení	39
6 Výpočty	40
6.1 Těžiště vrtulníku	40
6.2 Zvedaná hmotnost	41
6.2.1 Výpočet zvedané hmotnosti	41
6.3 Síly působící na zvedací ramena	41
6.3.1 Celková zatěžující síla.....	41
6.3.2 Síly působící na jednotlivá ramena.....	42
6.4 Síly působící na mechanismus zdvihu	44
6.4.1 Síly mechanismu zdvihu.....	44
6.4.5 Průměr pístu hydraulického válce	46
6.5 Síly působící na rám zařízení.....	46
6.6 Volba pojezdových kol	48
6.7 Pevnostní výpočty	48
6.7.1 Zvedací ramena.....	48
6.7.2 Výsuvná ramena.....	49
6.7.3 Výpočet čepů.....	49
6.8 Návrh pohonu zařízení.....	50
6.8.1 Redukovaný moment setrvačnosti	50
6.8.2 Kroutící moment motoru	51
6.8.3 Výkon motoru	52
6.9 Výpočet hřídele hnacích kol.....	52
6.9.1 Návrh hřídele	52
6.9.2 Zatížení hřídele.....	53
6.9.3 Kontrolní výpočet.....	53
6.9.4 Těsné pero	55
6.9.5 Kontrolní výpočet.....	56
7 Navržené zařízení.....	57
8 Závěr.....	58
9 Seznam zdrojů.....	59

10 Seznam použitých symbolů	61
11 Seznam obrázků	66
12 Seznam tabulek	67
13 Seznam příloh.....	68

1 Úvod

V dnešní době jsou vrtulníky hojně využívány k civilním účelům pro zajištění přepravy, monitorování a v neposlední řadě k záchranným akcím. Dalším odvětvím, kde jsou vrtulníky uplatňovány, jsou bezesporu armádní složky. Mnoho těchto vrtulníků je osazeno ližinovým podvozkem, díky čemuž je konstrukce podvozku značně jednodušší. U vrtulníků s ližinami však vzniká problém při přemisťování mezi letištní plochou a hangárem.

Účelem této bakalářské práce je provést přehled a zhodnocení výrobců pojezdových a zvedacích zařízení pro přepravu vrtulníků s ližinami mezi letištní plochou a hangárem. Dále provést rozbor možných mechanismů a navrhnout vhodné alternativní řešení pro přepravu vrtulníků od společnosti BELL do hmotnosti 2000 kg. Limitujícími faktory pro návrh takového zařízení jsou zejména parametry vrtulníků, pro které je toto zařízení určeno. Zařízení by dále mělo umožňovat snadnou manipulaci při upevňování k vrtulníku, bezpečnou přepravu a následné spuštění. Důležitou vlastností těchto zařízení je možnost snadného manévrování s vrtulníkem. Vzhledem k tomu, že přistávací plocha na letišti může mít menší nerovnosti, být mírně zatravněná a nezpevněná, je vhodné, aby bylo zařízení použitelné i za těchto podmínek. Dalším neodmyslitelným faktorem určujícím finální provedení je cena. Při požadavku co nejnižší ceny by zařízení muselo být konstruováno primárně pro manuální zdvih a přeprava by byla řešena prostřednictvím tažného zařízení, nebo vlastní obsluhou.

Konstrukce zařízení bude navrhována s ohledem na univerzální použití pro výše zmiňované vrtulníky bez zásadních výměn částí zařízení sloužících ke zdvihu zařízení. Budeme předpokládat zakázkovou kusovou výrobu a návrh bude koncipován pro další možnosti upravení a upevnění řídicích komponentů. Ovládání zdvihu a pojezdu bude prostřednictvím dálkového ovládání. Zařízení bude určeno pro manipulaci s vrtulníky na mírně hrboлатé betonové, nebo kamenité ploše bez větších nerovností.

Součástí této bakalářské práce je vypracování důležitých pevnostních a návrhových výpočtů, konstrukčního návrhu zařízení bez hydraulického obvodu a rozmístění příslušenství.

2 Vrtulníky BELL

2.1 Výrobce vrtulníků BELL

Společnost Bell Helicopter Textron Inc. s hlavním sídlem ve městě Fort Worth v americkém státě Texas byla založena roku 1935 Larrym Bellem zpočátku jako výrobce bojových letounů. Roku 1941 spatřil Larry Bell malý model vrtulníku, který vytvořil talentovaný vynálezce a student filosofie Arthur Middleton Young. Zhruba o rok později byl proveden první let prototypu vrtulníku. Tento prototyp byl osazen vertikálně uloženým motorem, který poháněl hlavní rotor a dalším rotorem, který zabraňuje nežadoucí rotaci stroje, umístěným na konci ocasu vrtulníku. První model vrtulníku s názvem Bell Model 47 se stal velmi úspěšným v komerčním i vojenském využití. [1]

Divize helikoptér se stala jediným výrobním oddělením a byla přejmenována na Bell Helicopter Company. Díky úspěšnému modelu víceúčelového vrtulníku UH-1 z období války ve Vietnamu se stala největší výrobní divizí společnosti Textron. Roku 1976 byla společnost přejmenována na Bell Helicopter Textron. [2]

V současné době společnost Bell Helicopter Textron Inc. úzce spolupracuje se společností AgustaWestland a specializuje se na výrobu vrtulníků využívaných v civilních i vojenských odvětvích. [2]

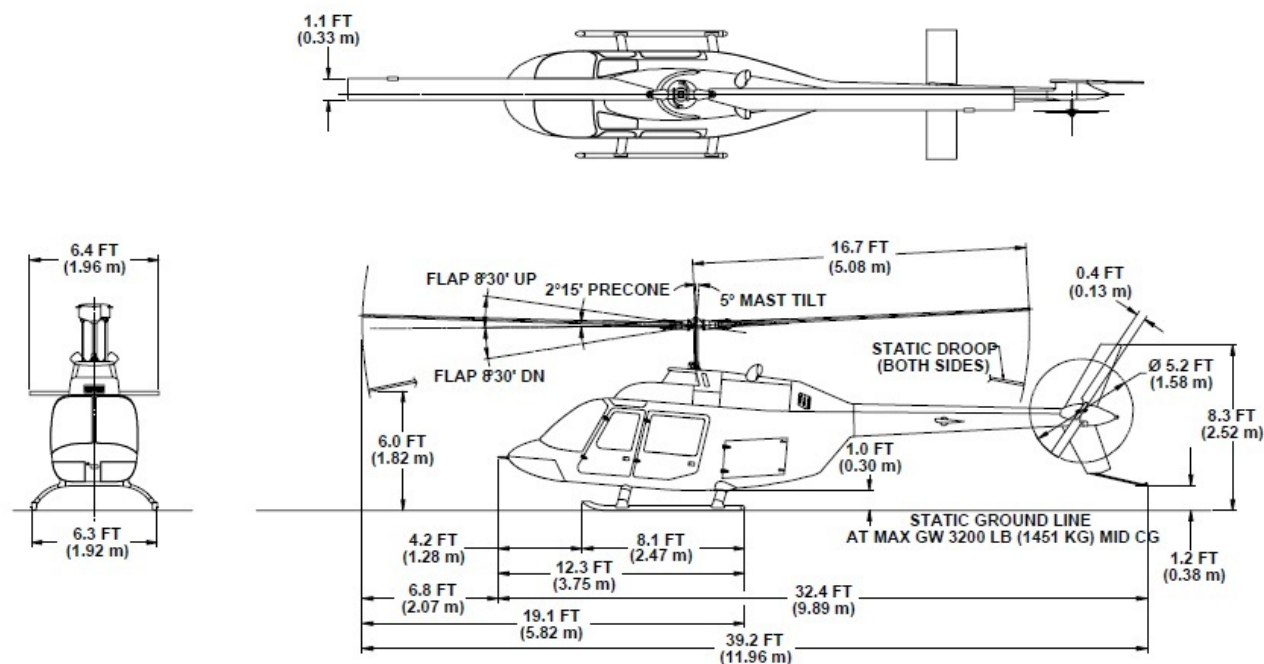
2.2 Vrtulníky do 2000 kg

2.2.1 Vrtulník Bell 206B3 JetRanger III.

Bell 206B3 JetRanger III se v současné době řadí mezi nejprodávanější modely z celé řady vrtulníků společnosti Bell Helicopter Textron Inc. [3] První JetRanger byl navrhnut v roce 1965 jako pomocný civilní vrtulník poháněný turbínovým motorem. O dva roky později byl certifikován a začala jeho výroba a produkce na trh. Od té doby bylo provedeno mnoho změn a zlepšení až do dnešní podoby.

JetRanger III je vyráběn ve třech druzích provedení ližinového podvozku. V běžném provedení, v provedení se zvýšeným ližinovým podvozkem a s úpravou pro možnost přistání na vodní ploše.

Tento vrtulník našel největší uplatnění v civilních sektorech, a to zejména u záchranných složek, speciálních jednotek policie nebo také u hasičských zásahů, např. při lesních požárech. Další možností využití tohoto vrtulníku jsou v oblasti komerční přepravy a turistiky.



Obr. 2.2: Vnější rozměry Vrtulníku Bell 206B3 JetRanger III [5]

Technické parametry standardního letounu 206B3 JetRanger III:

- Hrubá hmotnost 1519 kg
- Hmotnost nákladu 674 kg
- Pohon Rolls Royce 250 - C20J
- Výkon 313 kW
- Max. rychlost 226 km/h
- Dolet 694 km
- Posádka 1 pilot; 4 pasažeri

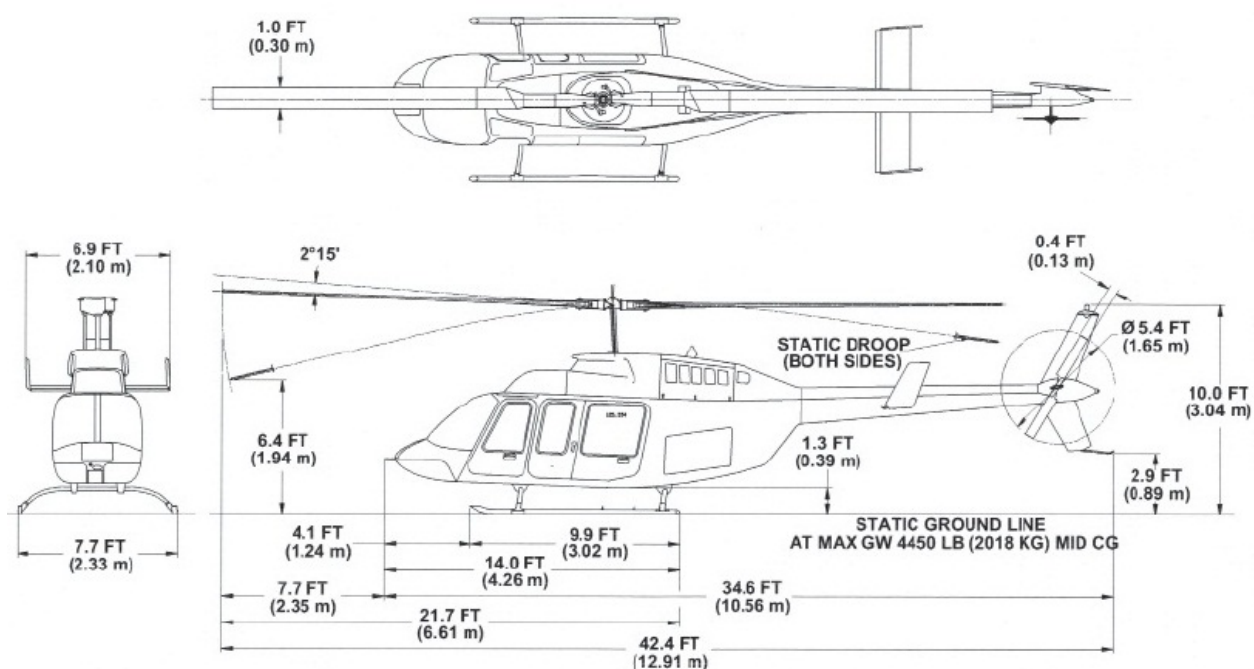
2.2.2 Vrtulníky Bell 206L LongRanger

Provedení tohoto vrtulníku vychází z verze Bell 206B JetRanger. Původním záměrem bylo sestrojít lehký vrtulník s větší kapacitou a užitností než může nabídnout JetRanger. Vývoj prodloužené verze JetRangeru začal v roce 1973 a na trh byl uveden roku 1975. Od této doby až dosud byl tento vrtulník vylepšován ve čtyřech etapách. Každá z těchto etap

se vyznačovala osazením vrtulníku výkonnějším motorem a dalšími drobnějšími zlepšeními. Stejně jako JetRanger i LongRanger našel své uplatnění v mnoha civilních sektorech.

Tab. 2.1: Specifikace verzí Bell 206L LongRanger

Označení	Hmotnost [kg]	Pohon: Rols-Roice Allison	Výkon [kW]	Max. rychlost [km/h]	Dolet [km]
206L	1814	250C20B	315	232	628
206L1	1882	250C28B	375		692
206L3	1882	250C30P	485	241	666
206L4	2018				661



Obr. 2.3: Vnější rozměry Vrtulníku Bell 206L4 LongRanger IV [5]

3 Výrobci a jejich podobná zařízení

V dnešní době se na trhu vyskytuje několik výrobců pojezdových a zvedacích zařízení určených pro manipulaci s vrtulníky, které mají ližinový podvozek. My se však budeme zabývat pouze nejvýznamnějšími z nich. Mezi hlavní výrobce těchto zařízení bychom tak mohli zařadit německou společnost Mototok International GmbH, kanadskou Helitowcart Inc. nebo výrobce Paravion Technology Inc. či J. B. Knowles Inc. (Chopper Spotter) pocházející z USA. Všichni tito výrobci nabízejí originální řešení manipulace s vrtulníkem. Zařízení jsou koncipována buď jako univerzální, nebo je jejich výrobní řada členěna podle nosnosti, popřípadě systémem uchycení vrtulníku nebo provedením podvozku. Výrobky se také od sebe liší svou manipulovatelností a náročností na obsluhu.

V České republice se výrobou podobných zařízení, bohužel, žádná společnost plně nezabývá. U výrobků vyvinutých v České republice se jedná pouze o zakázkovou kusovou výrobu, která vychází z konceptů některé z výše uvedených firem. Takovou českou společností, která se zabývala zakázkovou výrobou pojezdového a zvedacího zařízení, je například firma BELET a.s. Koncept tohoto zařízení však vychází z tažných zařízení Helitowcart.

3.1 Mototok International GmbH [4]

Celosvětově působící německá společnost Mototok International GmbH se zabývá výrobou a distribucí pojezdových a manipulačních zařízení určených pro letadla a vrtulníky. Pro manipulaci s letadly a vrtulníky s kolovými podvozky jsou určeny modely M 520, TWIN 6000, TWIN 6500 SP a SPACER 8500, který je inovací TWIN série pro letadla největších rozměrů a váhových kategorií. Výrobek společnosti Mototok International GmbH, určený k manipulaci s vrtulníky s ližinovým podvozkem nese modelový název HELIMO. Všechny výrobky jsou řízeny pomocí rádiového dálkového ovládní. Takto řešeným způsobem ovládní obsluha získává neomezený přehled o průběhu přemísťování letounu.[7]

3.1.1 Model Helimo

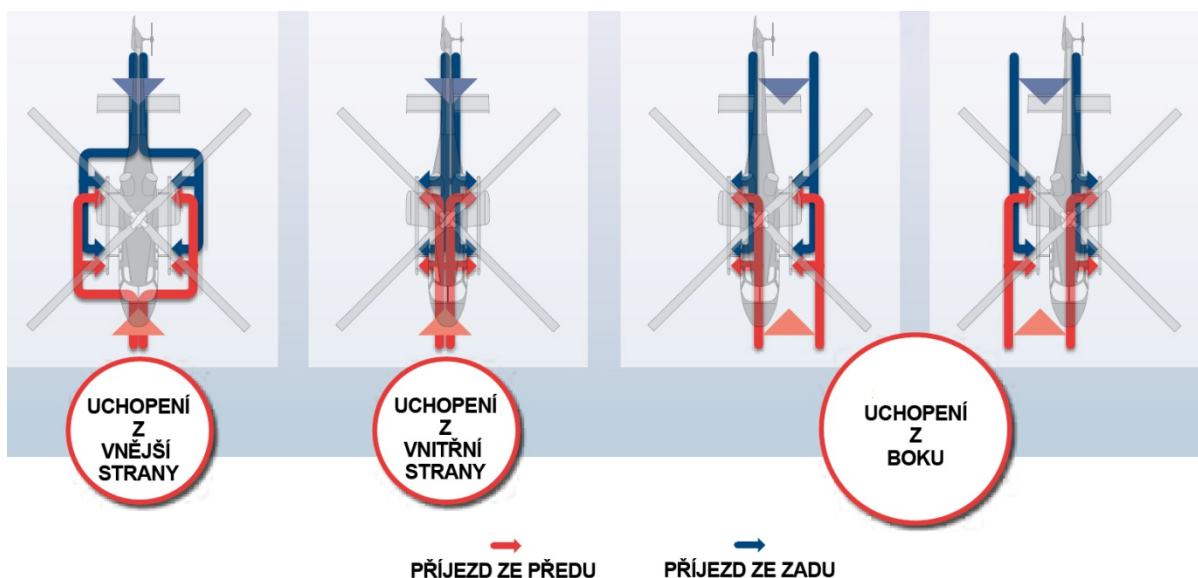
Pojezdové a manipulační zařízení HELIMO, určené pro velmi přesnou přepravu po letištní ploše a v hangáru, je univerzální pro všechny vrtulníky s ližinovým podvozkem. To je dáno rozsahem rozevření nosníků z minimální šířky 1,34 metru až do krajní polohy 5,041 metru. Zařízení je schopno unést až 5000 kg vážící stroj. Provedení modelu HELIMO

se vyznačuje velmi nízkou stavbou, která má světlou výšku od podlahy rovných 100 mm. Mechanismus zdvihu je plně hydraulický a nevyžaduje žádné manuální zásahy při zdvihání. Jedinou manuální činností bylo u starších verzí připevnění pojistných zámků přes vrchní stranu dosedacích ližin podvozku. Při manipulaci s přístrojem je možno volit mezi dvěma rychlostními režimy do maximální rychlosti 2,5 km/h. Velkou výhodou tohoto zařízení je schopnost pracovat po dobu dvou až tří dnů bez dobití baterií. [8]



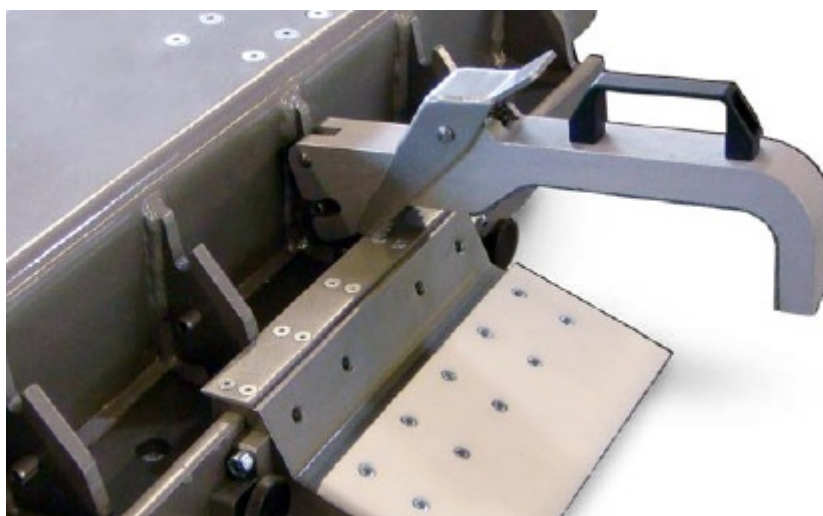
Obr. 3.1: Pojezdové a zdvihací zařízení HELIMO

Postup zdvihu vrtulníku je velmi variabilní a spočívá v najetí manipulátoru HELIMO z přední nebo zadní strany pod vrtulník. Dále máme možnost výběru realizace uchopení vrtulníku, a to buď z vnitřní strany ližin, nebo ze strany vnější, popřípadě z levé nebo pravé strany vrtulníku.



Obr. 3.2: HELIMO – příjezd a uchopení

Před uchopením ližin vrtulníku dochází ke snížení nosníků, opatřených speciálními náběžnými plochami, k zemi. V této poloze (těsně nad zemí) se nosníky pomocí hydraulických válců začnou přemísťovat do předem stanovené polohy, která je při uvedení do provozu nadefinována do řídicího programu. U starších verzí se náběžné plochy podsouvaly pod ližiny. Po rozevření nosníků a podsunutí náběžných ploch pod ližiny obsluha tyto ližiny zajistí pomocí pojistných zámků a mechanismus následně nosníky zvedne i s vrtulníkem. [7].



Obr. 3.3: Náběžná plocha a pojistný zámek [8]

U aktualizovaných verzí HELIMO, kde není zapotřebí žádných manuálních zásahů, dochází k uchopování ližin vrtulníku speciálním kleštinovým systémem poháněným hydraulickým pohonem. Všechny čtyři uchopovací kleštiny je možno přemísťovat do libovolné polohy na nosnících tohoto zařízení. Tento systém je navržen tak, aby nebyla nutná demontáž jakéhokoli příslušenství vrtulníku (světla, antény, přídavný zavazadlový prostor, zbraňový arsenál atd.).

Systém pojezdu je řešen s ohledem na maximální pohyblivost tohoto zařízení. V hlavní části stroje, kde se také nachází řídicí jednotka, jsou dvě poháněná pojezdová kola. Při protisměrném otáčení těchto kol dochází k natáčení celého zařízení. V zadní části zařízení - na nosnících, jsou umístěna pojezdová soukolí, která se samovolně natáčí podle směru jízdy. Takto řešený systém je výhodný jak z hlediska manipulace s naloženým vrtulníkem, tak z hlediska ekonomického.

3.2 Helitowcart Inc. [5]

Helitowcart je značka a divize společnosti Vanair inc. se sídlem v Kanadě. Úkolem společnosti Helitowcart je vývoj, výroba a prodej tažných zařízení a příslušenství pro manipulaci s lehkými a středně těžkými vrtulníky. Provedení těchto manipulačních zařízení se odvíjí od záměru společnosti poskytovat vysoce kvalitní, cenově dostupné a spolehlivé výrobky využitelné pro několik typů vrtulníků. Za pouhých šest let byla společnost schopná proniknout se svými pojezdovými a manipulačními zařízeními do více než třiceti zemí z celého světa.

Zařízení a příslušenství jsou kompatibilní s těmito vrtulníky:

- Bell 206 (B206B-3, B206L-4), Bell 407, Bell 427
- Eurocopter EC120, EC130, EC145, AS350 (AS350B2, AS350B3, AS350B4), AS355, BK117
- Robinson R22, R44 (R44 Raven I, R44 Raven II)
- Enstrom 280, 480, F-28F
- Agusta 109

Obecně lze sortiment společnosti Helitowcart rozdělit do dvou hlavních skupin: tažných vozíků a jejich příslušenství určených pro vrtulníky s menší hmotností a nosičů pro středně těžké vrtulníky. Samostatnou menší skupinou je doplňkové zboží, jako například dosedací plochy pod ližiny BearPaws určené pro přistání na sněhu a ledu, nebo přídatné zavazadlové prostory AmplePod montované na ližiny.

3.2.1 Tažné vozíky a jejich příslušenství

Tažné vozíky jsou společností obecně označovány jako Helitowcarts (helicopter towing carts). Verze jednotlivých tažných vozíků jsou rozděleny podle velikosti a tím i nosnosti. Hlavní zdvihovou jednotkou u všech verzí je nůžkový mechanický systém s elektromotorem, nebo je zdvih prováděn ručně manuálním hydraulickým systémem. Pro vrtulníky s menší hmotností (do 4000 kg) se pro zdvih využívá nůžkového mechanismu s elektromotorem. Do této skupiny spadají verze V201, V403 a V404. Zdvih vrtulníků nad 4000 kg je realizován teleskopickým zdvihem pomocí elektromotoru. Toto se vztahuje pro verze V500, V610 a V614. Manuální hydraulický systém se uplatňuje u verzí V102 a V204, které jsou určeny pro vrtulníky Robinson R22 a R44.

Všechny tažné vozíky jsou vybaveny dvěma nebo čtyřmi koly poháněnými 300W elektromotory, napájenými 12V autobateriemi. Aby bylo dosaženo maximální efektivity a manipulovatelnosti zařízení, jsou tato kola opatřena brzdovým systémem, který nám dovoluje upevňování zdvihacích ramen k ližinám vrtulníku i na šikmé ploše. Tento systém, mimo jiné, také zajišťuje lepší manipulovatelnost s tažným vozíkem i v případě popojíždění na šikmé ploše. Veškeré pojezdové vlastnosti jsou navíc podpořeny robustními pneumatikami na poháněných kolech. Zařízení se tak stává použitelné i na nezpevněné letištní ploše s mírnými nerovnostmi, pokryté nízkou vrstvou sněhu nebo ledu.

Ovládání zdvihu a pojezdu tažných vozíků je umístěno na skládacím manipulačním rameni nebo volně na kabelu. Výhodou volného umístění ovládání s propojením pomocí kabelu je bezpochyby možnost volného pohybu uživatele kolem tažného vozíku. Ovládání pojezdu umožňuje plynulé nastavení rychlosti pomocí potenciometru. Tím můžeme docílit velmi citlivého nastavení rychlosti a manévrování například v hangáru mezi dalšími letouny. Na druhou stranu máme možnost nastavit vyšší rychlost vhodnou pro přepravu po otevřené letištní ploše.



Obr. 3.4: V404 bez krytů

Zdvih a manipulace s vrtulníkem nelze realizovat pouhým tažným vozíkem. Ližiny vrtulníku je potřeba připevnit pomocí stahovacích popruhů na nosné rameno zdvihu, které před upevňováním musíme nastavit na potřebnou rozteč upevňovacích ploch. Před zdvihnutím a odtažením je důležité připevnit přídatná kola, bez kterých by odtažení vrtulníku nebylo bez poškození ližin proveditelné. Přídatná kola se dodávají v několika provedeních typických pro danou aplikaci. Připevnění kol na ližiny a zdvih je buď mechanické, nebo manuálně ovládaným hydraulickým pístem.

3.2.2 HeliCarrier a příslušenství

Od roku 2009 jsou novinkou v sortimentu společnosti Helitowcart pojezdová a zdvihací zařízení s názvem HeliCarrier (Helicopter Carrier – nosič vrtulníků). V současné době se vyrábí tři verze odstupňované podle maximální nosnosti, která je u nejvyššího modelu s označením V 1030 4318 kg. Toto zařízení na rozdíl od tažných vozíků zvedá celý vrtulník a není zapotřebí žádných přídatných kol, jako u předchozího typu. Charakteristickým rysem pro HeliCarrier je robustní svařovaný rám a řízený hydraulický systém zdvihu. Zdvih je proveden tak, že zadní kola jsou upevněna na pákovém mechanismu, jehož polohu určujeme pomocí přímočarých hydraulických pohonů, umístěných uvnitř bočnic HeliCarrier.

K upevnění ližin vrtulníku je zapotřebí speciálně tvarovaných závěsných příchytek rozdělených podle druhu vrtulníku, na který je aplikujeme. Závěsné příchytky jsou zavěšeny na zadních ramenech zvedacího zařízení pomocí speciálních šroubových závěsů a k ližinám se upevňují na speciálních místech k tomu určených. Přední ramena slouží pro ustavení vrtulníku po jeho zdvižení. Tuto funkci plní tak, že se zapřou o horní stranu ližin. Zdvih vrtulníku je řešen kyvným pohybem zadních kol. K ovládní zdvihu jsou využívány hydraulické válce, které jsou umístěny v boční konstrukci rámu. Oba válce pohání hydraulické čerpadlo o výkonu 2kW, napájené čtyřmi akumulátorovými bateriemi o napětí 24V. Ovládací panel je umístěn na manipulačním rameni, kterým určujeme směr jízdy.



Obr. 3.5: Závěsné příchytky

Celé zařízení je konstruováno tak, aby bylo schopné pracovat i na nezpevněném lehce hrbolatém terénu. Je vybaveno šestnáctipalcovým vodícím kolem s hrubým vzorkem a dvěma páry zadních kol. Zadní kola mohou být v provedení s pneumatikami, nebo jako tvrdá.



Obr. 3.6: HeliCarrier V1030, V1022, V1020

3.3 Paravion Technology Inc. [6]

Po necelé dvě desetiletí nabízí společnost Paravion Technology Inc. nesčetnou řadu příslušenství a pomocných zařízení určených a uzpůsobených pro celosvětový letecký průmysl s vrtulníky. Nedílnou součástí sortimentu této firmy jsou také pojezdová a manipulační zařízení pro vrtulníky značky Bell. Tato zařízení se jednotně nazývají Heliporter a jsou vyráběny ve čtyřech základních variantách a to HP110E, řada HP150, HP200 a HP250.

Heliporter je konstruován tak, aby jedinému člověku umožnil snadnou a bezpečnou přepravu malých až středně velkých vrtulníků po letištní ploše. Modely Heliporter jsou dostupné v rozsahu nosností od 680 kg až do 5443 kg. Zařízení je vybaveno 12V, nebo 24V systémem pohánějícím hydraulické čerpadlo, které dodává energii do hydraulického pohonu ke zdvižení, nebo spouštění vrtulníku. Princip zdvihu je řešen tzv. dvojitým rámem, kde horní část rámu slouží jako zdvižná platforma. Upevnění unášeců zdvižného rámu k nosným částem vrtulníku je řešeno dvěma variantami. Buď vertikálními nosnými sloupky (bez přidaného písmena u označení), které se při zdvihání opřou o nosnou konstrukci ližin vrtulníku nebo klasickým závěsným způsobem pomocí speciálních úchytek, jako tomu bylo

u Helitowcart (na konci označení je za pomlčkou přidáno písmeno X). V případě používání sloupků ke zdvihu je nutné věnovat zvýšenou opatrnost při polohování Heliporteru pod vrtulník. Jinak může dojít k poškození trupu vrtulníku.

Hydraulické čerpadlo také dodává potřebnou energii do hydraulického motoru umožňujícího plynulý pohyb zařízení vpřed a vzad. Převodovka s hydraulickým motorem bývá umístěna přímo na hřídeli poháněného kola a je pojištěna proti uvolnění. Tento hydraulický systém poskytuje plynulou a jednoduchou ovladatelnost v těsných prostorech, například hangáru. Pro takovéto situace vyvíjí společnost Pravion Technology Inc. speciální přídatné vybavení.

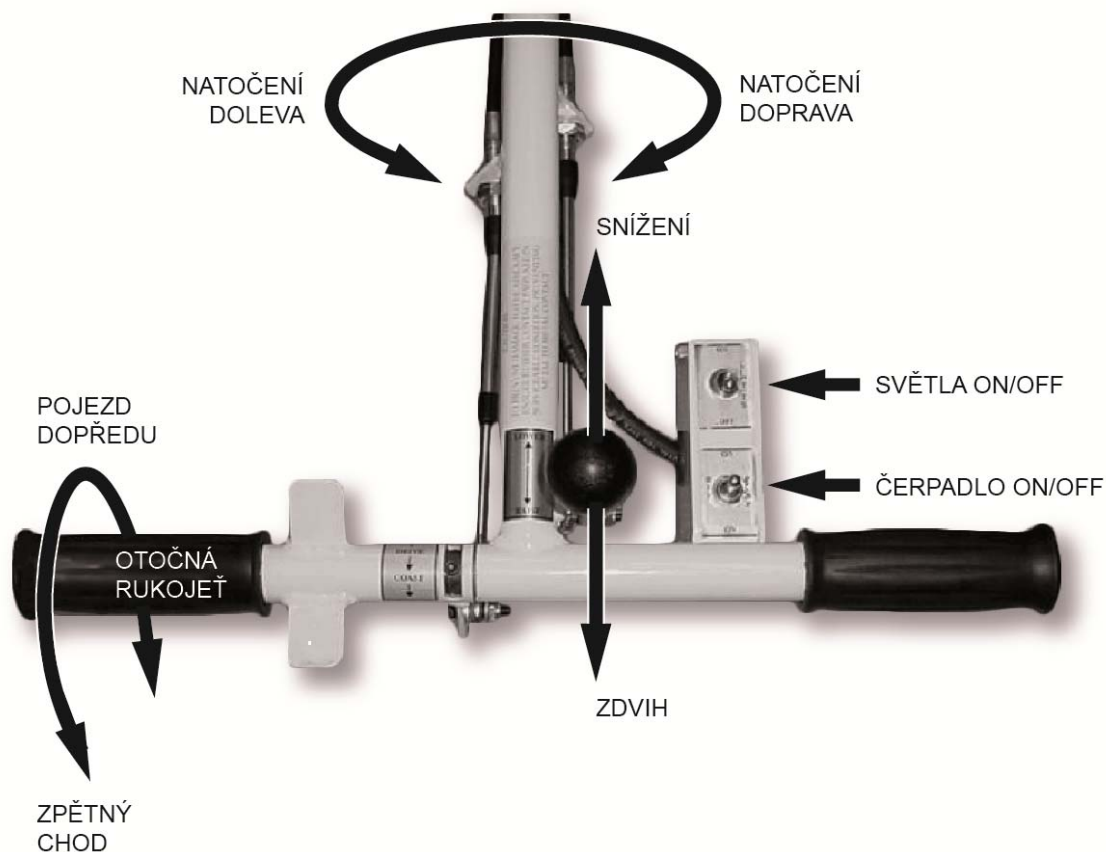
3.3.1 Heliporter HP150

Heliporter HP 150 je po HP110E druhým pojezdovým a zdvihacím zařízením určeným pro lehké vrtulníky. Zdvih je realizován přímočarým hydraulickým pohonem umístěným vzadu ve střední části Heliporteru. Ve střední části, na levé straně od obsluhy se nachází výkonné hydraulické čerpadlo dodávající potřebnou energii do přímočarého hydraulického pohonu zdvihu a rotačního hydraulického motoru pohánějícího levé zadní soukolí. Celé zařízení je osazeno šesti pojezdovými koly, a to dvěma páry v zadní části a dvěma postranními koly v části přední. Díky jednoduchému pákovému mechanismu těmito koly určujeme směr zatáčení vozíku. Na konzole, která toto umožňuje, jsou také umístěny reflektory umožňující snadnější manipulaci se zařízením při snížené viditelnosti.



Obr. 3.7: Heliporter HP150E-X

Heliporter HP 150 se běžně dodává ve dvou variantách provedení způsobu pojezdu a manipulace s vrtulníkem a ve dvou variantách upevnění unášeců. První z možností ovládání nese označení HP 150 E. Písmeno „E“ znamená, že ovládání tohoto pojezdového a zdvihacího zařízení je určeno pro přímou ruční obsluhu. Takto přizpůsobené ovládání je umístěno na manipulačním rameni a rozložení ovládacích prvků je provedeno dle následujícího obrázku.



Obr. 3.8: Ovládání Heliporter HP150E

Druhou možností je provedení k zavěšení manipulačního ramene za tažné zařízení, kdy tažení vrtulníku je zabezpečeno jiným tahačem, a proto nemusí mít takto upravené zařízení vlastní hnací kola opatřené hydraulickým motorem. Na manipulačním rameni se nachází pouze přepínač zdvihu a spouštění.

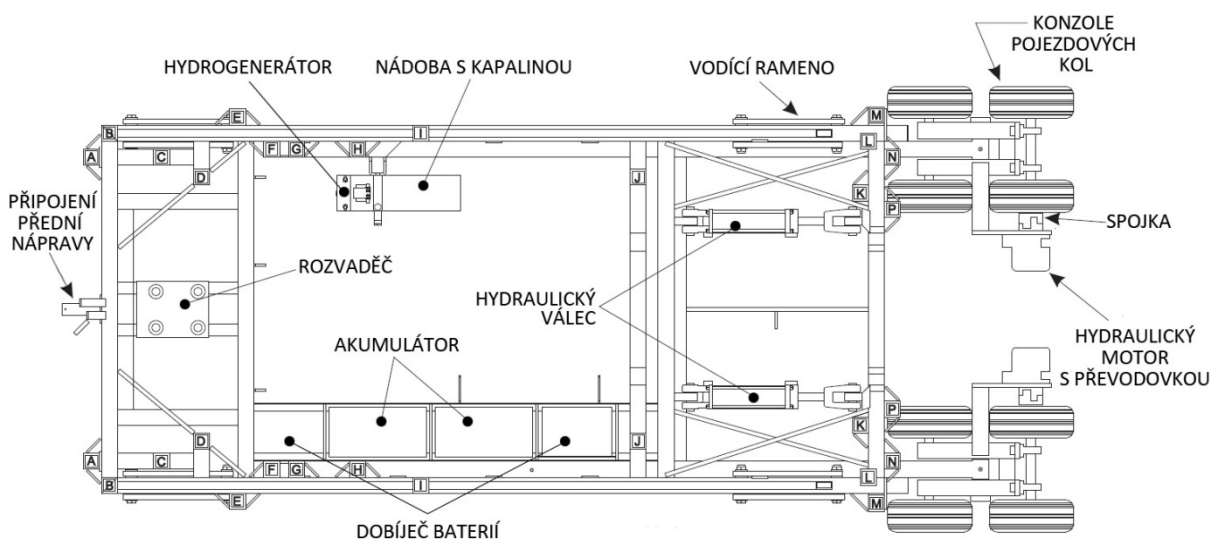
3.3.2 Heliporter HP200

Zařízení pracuje na stejném principu a vychází ze stejné konstrukce jako má HP150, pouze je osazeno výkonnějším hydraulickým a elektrickým vybavením. Na rozdíl od verze

HP 150, u této řady není možné provedení upevnění vrtulníku k unášecům zdvižného rámu zavěšením ližin za přichytky. Tento model je dodáván pouze v provedeních HP200E a HP200TP.

3.3.3 Heliporter HP250

Celé zařízení je charakteristické svou konstrukcí uzpůsobenou pro zdvihání a manipulaci se středně těžkými vrtulníky. Na rozdíl od předchozích verzí je zdvih u tohoto modelu realizován dvěma přímočarými hydraulickými pohony umístěnými v zadní části. Tato část je speciálně osazena dvěma poháněnými páry pojezdových kol a dvěma páry pojezdových kol bez pohonu. Manipulace je obdobná jako u modelů Heliporter popsaných výše. Heliporter HP 250 se vyrábí ve čtyřech verzích, a to HP250E, HP250TP, HP250E-X a HP250TP-X.



Obr. 3.9: HP250 půdorys bez přední nápravy

3.3.4 Heliporter HP250G2

Oproti ostatním typům je HP250G2 uzpůsobeno pro tažení vrtulníků do 5443 kg hmotnosti speciálním tažným vozíkem poháněným spalovacím motorem. Tento vozík je zkonstruován jako jednomístný pro stojící obsluhu. Na vrchní části je umístěn ovládací panel, kde je startovací zámek, páky pro ovládání pojezdu, zapínání světel a bezpečnostní brzda.

Vlastní pojzdové a manipulační zařízení je k vozíku připevněné přes otočný kloub, který je součástí tažného ramene.



Obr. 3.10: Heliporter HP150E-X

Zdvih vrtulníku zajišťuje mechanismus se třemi přímočarými hydraulickými pohony. Dva pohony jsou umístěny stejně, jako tomu bylo u HP250. Třetí pohon se nachází uprostřed celého zařízení. Princip mechanismu je stejný jako u předchozích typů. Můžeme volit mezi závěsným provedením nebo běžným způsobem pomocí vertikálních sloupků.

3.4 Chopper Spotter [7]

Chopper Spotter je obchodní značka pojzdových a manipulačních zařízení společnosti s třicetiletou tradicí J. B. Knowles, Inc. sídlící v jižním Wisconsinu v USA. Toto zařízení je vyráběno ve třech verzích, rozlišených svou nosností, a tím i provedením. Jedná se o modely: E, MS a 4. Všechny verze tohoto zařízení jsou určeny pro manipulaci s vrtulníky na zpevněném betonovém nebo asfaltovém povrchu. Proto jsou osazeny polyuretanovými koly. Přední kolo je poháněno elektrickým motorem a dvě vyrovnávací zadní kola u verze E, nebo čtyři u verzí MS a 4 slouží jako stabilizační. K dosažení větší

bezpečnosti je elektrický ovladač opatřen schopností brzdit poháněné kolo při sjíždění z ramp nebo jiných nakloněných rovin. Pokud je požadováno popojíždění se zařízením pomocí nějakého letištního tahače je nutné, aby rychlost pojezdu nepřekročila stanovenou manipulační rychlost. Abychom umožnily tažení vyšší rychlostí, je potřeba odstranit řetěz pohánějící přední kolo (při vyšších rychlostech hrozí spálení motoru) a současně stabilizovat ocas helikoptéry.



Obr. 3.11: Chopper Spotter – umístění a manipulace

Zdvih vrtulníku je prováděn kyvným pohybem speciálně tvarovaných závěsných ramen, na kterých je vrtulník zavěšen svorkami nebo závěsnými příchytkami za ližiny podvozku. Pohonnou jednotkou tohoto mechanismu je přímočarý hydraulický válec umístěný v centrální části Chopper Spotteru. Provedení ovládání tohoto zařízení vypadá podobně jako ovládání u menších halových jeřábů. Takto navržené ovládání je s manipulátorem propojeno prostřednictvím kabelu, který je dostatečně dlouhý (8,5 m) k tomu, abychom se mohli bez omezení pohybovat okolo manipulovaného vrtulníku. Kabel bývá navinut na manipulační rameno, které při zajíždění se strojem pod vrtulník můžeme sklopit do vodorovné polohy, abychom nepoškodily nějaké přídatné zařízení v zadní části vrtulníku. Zatáčení při manipulaci s vrtulníkem provádíme vedením vrtulníku za jeho ocasní část.

Na rozdíl od předešlých zařízení od firem Paravion Technology Inc. a Helitowcart Inc. s Chopper Spotterem přijíždíme pod vrtulník z jeho zadní strany. Jako výhody tohoto systému uvádí výrobce například: pohodlnější kontrolu spojovacích bodů nebo vyhnutí se přídatným zařízením umístěným na přední části vrtulníku.

3.4.1 model E

Model E je určen pro lehké vrtulníky s hmotností do 2 075 kg. Jedná se o zařízení, které má ze všech modelů nejnižší nosnost. Energii pro zdvih a pojezd dodávají dvě 24V akumulátorové baterie umístěné na pravé straně od obsluhy. Tato verze je osazena jedním zdvižným ramenem a pouze dvěma zadními vyrovnávacími koly. Hmotnost tohoto modelu je 318 kg.

3.4.2 model MS

Tato verze je konstruována pro vrtulníky do 4150 kg. Standardním vybavením je modul pro napájení akumulátorových baterií. K napájení výkonnějšího hydraulického systému je zapotřebí čtyř 24V akumulátorových baterií. Stejně jako model E, i tato verze je v provedení s jedním zdvižným ramenem. Vzhledem k tomu, že je zařízení uzpůsobeno ke zdvihu těžších vrtulníků, je osazeno dvěma páry zadních vyrovnávacích kol a přední poháněné kolo je rozšířeno o 20mm, tedy na 120mm. Zařízení je také vybaveno bezpečnostním tlačítkem umožňujícím rychlé spuštění vrtulníku v případě selhání systému zdvihu. Hmotnost modelu MS je 409 kg.



Obr. 3.12: Chopper Spotter – model MS

3.4.3 model 4

Zdvihová kapacita této verze je 5000 kg. Provedení vychází z verze MS s tím rozdílem, že tento model je osazen dvěma zdvižnými rameny. Druhé zdvižné rameno se nachází v přední části před poháněným pojezdovým kolem a je propojeno s prvním ramenem prostřednictvím pákového mechanismu. Použití dvou zdvižných ramen nám poskytuje větší stabilitu při manipulaci s vrtulníky. Hmotnost zařízení je 500 kg.



Obr. 3.13: Chopper Spotter – model 4

3.5 Zhodnocení

Jednotliví výrobci a jejich pojezdová a manipulační zařízení se liší zejména systémem řešení zdvihu a uchopení vrtulníků. Německá společnost Mototok International GmbH využívá automatizovaný systém uchopení rozevřením nebo sevřením nosníků se speciálně upravenými náběžnými plochami, zajištěním ližin a následným zdvihem, který je proveden sklopením nosníků. Firma Helitowcart Inc. u svých tažných vozíků (modely Helitowcart) fixuje zdvižné rameno k ližinám podvozku vrtulníku pomocí upevňovacích popruh a zdvih je realizován buď nůžkovým mechanickým systémem poháněným elektromotorem, nebo ručně manuálním hydraulickým systémem. Upevnění ližin vrtulníku u Helicarriers je řešeno zavěšením za závěsné příchytky. Zdvih vrtulníku je řešen kyvným pohybem zadních kol. Paravion Technology Inc. řeší uchopení vrtulníku zavěšením do svorek nebo opřením vertikálních nosných sloupků o určité body na spodní části vrtulníku. K nadzdvížení je použit

mechanismus s dvojitým rámem. Posledním zmiňovaným výrobcem je J. B. Knowles, Inc. se zařízeními Chopper Spotter, kde je upevnění ližin zavěšením jako je tomu u některých verzí od společnosti Paravion Technology Inc. a Helitowcart inc. U Chopper Spotteru vykonává zvedací rameno rotační pohyb.

Pojezdové mechanismy jsou u většiny výrobků uzpůsobeny pro zpevněný povrch, jedinou výjimkou jsou zařízení od společnosti Helitowcart inc., kde je použito robustních kol s pneumatikami, popřípadě speciálně navržených hliníkových kol s polyuretanovým pláštěm. Takto navržená kola nám umožňují manipulaci s vrtulníky i na nezpevněné travnaté ploše. Manipulace jednotlivých zařízení s vrtulníky je řešena různě. Chopper Spotter preferuje ruční způsob zatáčení a přídavný pohon předního kola s polyuretanovým pláštěm. Výrobky společnosti Paravion Technology Inc. jsou manipulovatelné buď ručně s pohonem zadních kol, nebo je využíváno tažného zařízení.

S ohledem na manipulovatelnost a univerzálnost použití se jako nejvhodnější zařízení jeví pojezdové a zvedací zařízení HELIMO od společnosti Mototok International GmbH. Velkou výhodou je využití rádiového dálkového ovládní, které nám poskytne volný pohyb a tím přehled o prostoru kolem vrtulníku.

V případě nutnosti použití zařízení na nezpevněném terénu je však jednoznačnou volbou Helicarrier společnosti Helitowcart inc.

4 Rozbor možných mechanismů

Mechanismy aplikovatelné na pojezdová a zdvihací zařízení pro vrtulníky lze rozdělit do několika dílčích skupin. Odděleně lze hovořit o mechanismu zdvihu, mechanismu pojezdu, mechanismu aretace vrtulníku s ližinovým podvozkem na manipulačním zařízení a v neposlední řadě můžeme mluvit o mechanismu a provedení ovládní celého zařízení, respektive ovládacího panelu.

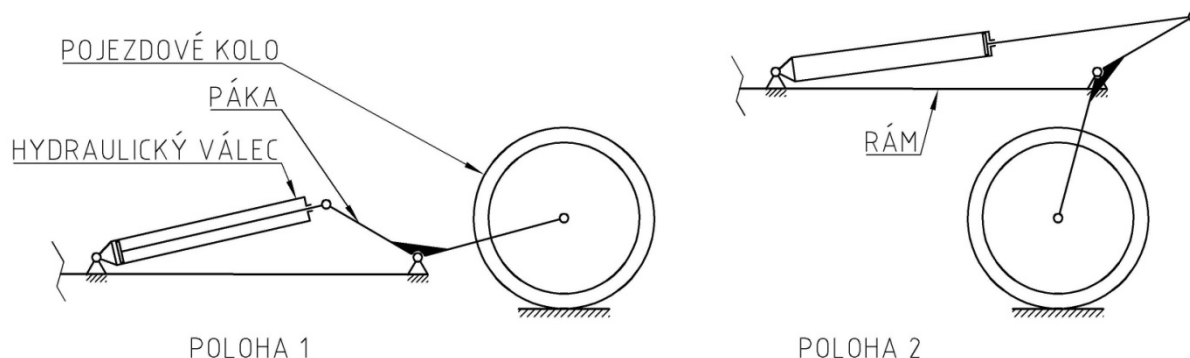
4.1 Mechanizmy zdvihu

Dle mechanismu zdvihu lze konstrukční provedení pojezdového a zvedacího zařízení pro vrtulníky rozdělit do dvou hlavních skupin. První skupinou z těchto mechanismů jsou provedení s jednoduchým rámem, kde hlavní část zařízení tvoří jeden rámový prvek, na němž jsou umístěny ostatní mechanismy (mimo ovládní) spolu s mechanismem zdvihu. Druhým takovým řešením je provedení s děleným rámem na několik hlavních částí a to základnu rámu (podvozek) a zdvižnou část rámu. Speciálním konstrukčním řešením dělených rámu je provedení s hlavní částí a samostatnými unášeči.

Níže uvedené mechanismy jsou vždy nakresleny ve sníženém stavu zvedacího prvku, kdy dochází k uchopení (aretaci) vrtulníku, nebo jeho odkládání – POLOHA 1. Druhá část náčrtu znázorňuje mechanismus v poloze se zdviženými zvedacími prvky zařízení – POLOHA 2.

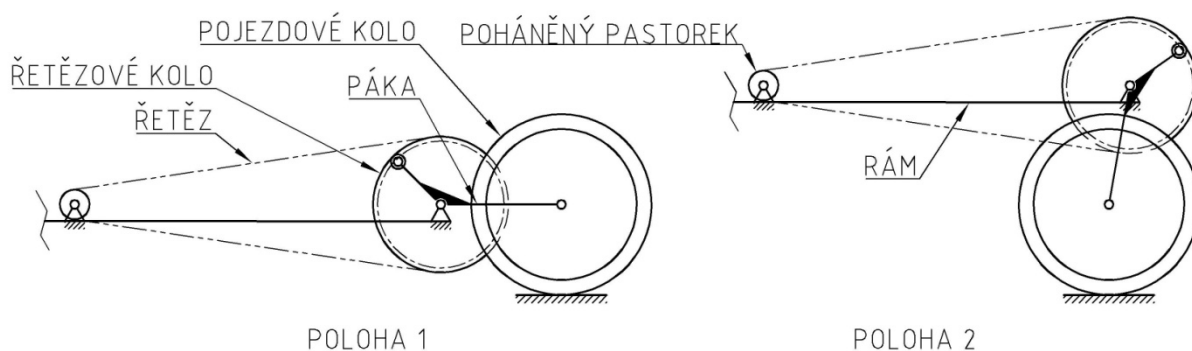
4.1.1 Provedení s jednoduchým rámem

Zdvih vrtulníku u tohoto provedení lze řešit hned několika způsoby. Jedním z nich je např. zvýšením světlé výšky podvozku (rámu) pomocí změny polohy pojezdových kol jak v přední části, tak v části zadní. Tato změna polohy je u zadních kol řešitelná prostřednictvím pákového mechanismu, který je možno realizovat pomocí hydraulického přímočarého pohonu připojeného přímo k pákovému mechanismu jednotlivých kol, popřípadě soukolí. Aplikace dorazů koncových poloh je v našem případě z důvodu nízké přesnosti zdvihu bezpředmětná, na druhou stranu však mohou značně snížit namáhání pohonných elementů zdvihu.



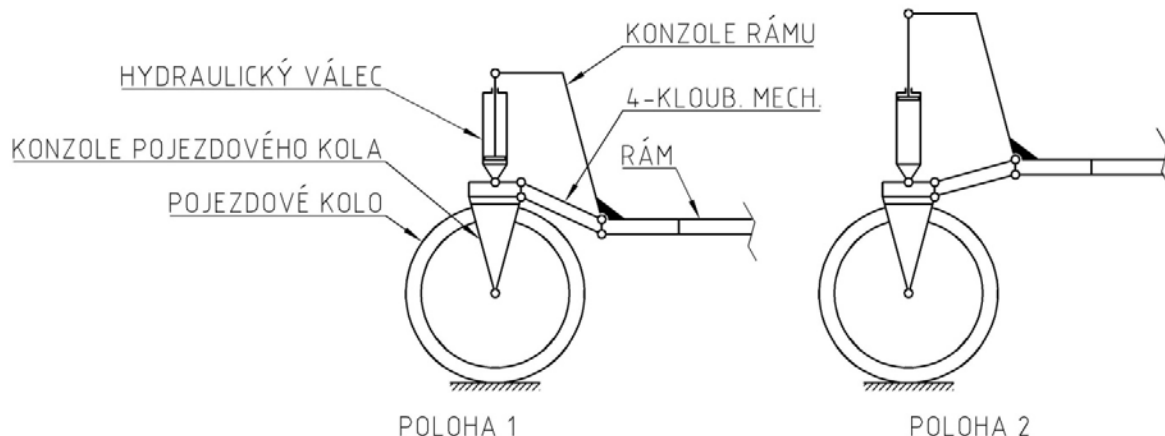
Obr. 4.1: Zdvih zadních kol hydraulickým válcem

Další variantou manipulace se zadními koly může být řetězovým, popřípadě řemenovým převodem ovládajícím polohu obou kol současně. Změna polohy je principiálně provedena stejným způsobem jako u předchozího návrhu mechanismu. Při tomto pohybu realizovaného pohonem pastorku bude docházet k trhavému pohybu mechanismu překlopení kol. V případě použití tohoto mechanismu je vhodné použít dorazů koncových poloh, abychom zabránily přetěžování řetězu/řemenu a pastorku. Tuto metodu bych také, z důvodů nutnosti použití převodových mechanismů s vysokým převodovým poměrem, raději neaplikoval.



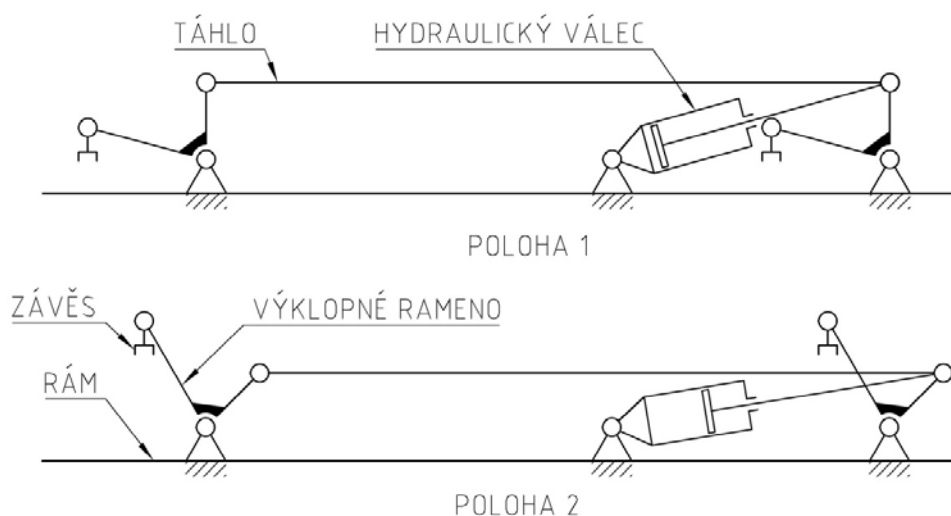
Obr. 4.2: Zdvih zadních kol řetězovým převodem

U přední části manipulačního zařízení lze aplikovat přímočarý vertikální pohyb zdvihu rámu, realizovaný přímočarým hydraulickým pohonem a čtyř-kloubovým mechanismem, čímž docílíme zvýšení světlosti podvozku v této oblasti. Nevýhodou řešení zdvihu vrtulníku pomocí zvýšení celkové světlosti je nežádoucí omezení manévrovacích schopností pojzdového a zdvihacího zařízení, u kterého je tento mechanismus aplikován.



Obr. 4.3: Zdvih předního kola hydraulickým válcem

Mezi ostatní způsoby zdvihu vrtulníku můžeme zařadit mechanismy, kde pohybujeme pouze se zdvihacími rameny, na kterých je vrtulník uchycen. Těmito rameny můžeme manipulovat hned několika způsoby. Například využitím nůžkového mechanismu, na jehož horním rameni je upevněno rameno zdvihu vrtulníku, jako je tomu u tažných zařízení Helitowcart. Takto navržený mechanismus by mohl být poháněn hydraulickým nebo elektrickým přímočarým pohonem, případně šroubem pohánějícím jedno nebo obě ramena nůžkového mechanismu osazené pohybovými maticemi s opačným smyslem stoupání závitu. Zde ale musíme zohlednit velké namáhání závitových částí jak na šroubu, tak na pohyblivých maticích. Výše popsaný mechanismus je možno pohánět motorem nebo klikou v případě ruční manipulace. Tyto mechanismy jsou schematicky znázorněny v příloze P8.

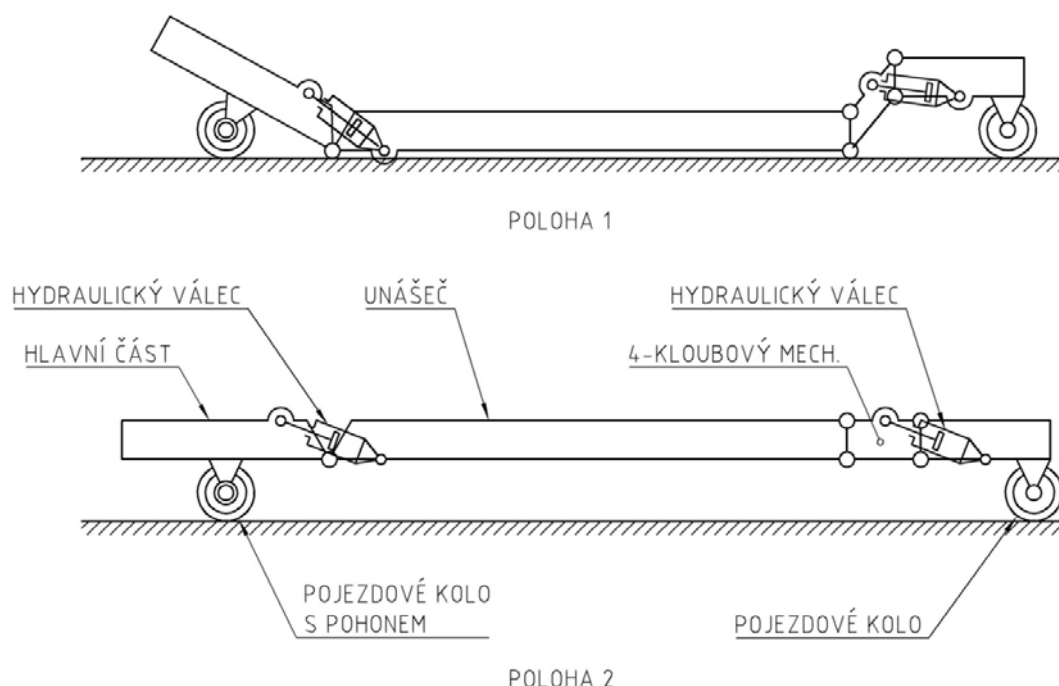


Obr. 4.4: Zdvih výklopných ramen hydraulickým válcem

Další možností pohybu ramen zdvihajících vrtulníků je díky mechanismu, který nám umožní jejich vyklopení do požadované výšky zdvihu. Vyklopení lze realizovat pákovým mechanismem poháněným přímočarým hydraulickým pohonem přímo pohybujícím pouze s jedním výklopným ramenem zdvihu. Druhé rameno bude propojeno s prvním pomocí táhla.

4.1.1 Provedení s děleným rámem

V tomto případě provedení je možnost rozdělení rámu na dolní základní část (tzv. podvozek) nesoucí veškerou technickou výbavu zařízení a na horní zdvíhanou platformu, na níž jsou umístěna ramena pro uchopení vrtulníku, nebo vzpěrné sloupky sloužící k zapření zdvíhané platformy o speciální místa na trupu vrtulníku. Zdvihání platformy může být řešeno buď nůžkovým mechanismem nebo mechanismem kyvným s postranními vodícími rameny určujícími výšku zdvihu. Oba tyto mechanismy jsou schematicky vyobrazeny v příloze P6.



Obr. 4.5: Zdvih – dělený rám

Ve většině případech je ke zdvihu platformy nejvhodnější a nejjednodušší využití translačního pohybu hydraulických přímočarých pohonů. Další variantou pohonu je použití tlačného řetězu nebo šnekové převodovky převádějící pohyb rotační na pohyb translační pomocí šneku otáčejícího maticí, která pohybuje šroubem. Tyto dvě varianty však mají

nevýhodu ve značné rozměrové náročnosti a stávají se tak použitelnými pouze pro vrtulníky se zvýšeným ližinovým podvozkem. V neposlední řadě mohou být využity pohonné mechanismy, popsány v odstavci věnujícímu se způsobům přímého zdvihu ramen, pro upevnění vrtulníku.

Speciálním provedením děleného rámu jsou samostatně mechanicky ovládané unášče upevněné na hlavní části zařízení. Snížení a zdvih unáščů je prováděn přímočarými hydraulickými pohony umístěnými v přední a zadní části unáščů. Při snižování unáščů se hlavní část vyklopí a spolu s čtyř-kloubovým mechanismem ovládaným hydraulickým válcem, v zadní části unášče, zajistí snížení unáščů na požadovanou úroveň. Tímto konstrukčním řešením docílíme vysoké variability uchopení vrtulníku a v neposlední řadě možnosti osazení zařízení takovými mechanismy pojezdu, které nám nabídnou vysoké manévrovací schopnosti.

4.2 Mechanizmy pojezdu

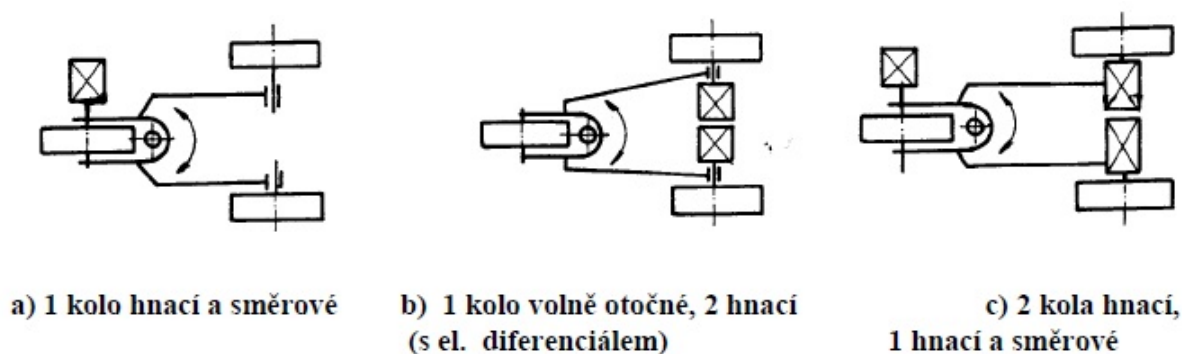
Stejně jako u mechanismů zdvihu máme i u mechanismů pojezdu několik aplikovatelných řešení. Mezi nejdůležitější faktory pojezdového zařízení patří bezesporu jeho schopnost manévrování s vrtulníkem ve stísněných prostorách a podíl využití síly uživatele při této činnosti. Mechanizmy pojezdu můžeme rozdělit na pohon pojezdu a mechanismus natáčení zařízení. Volba mechanismu také závisí na druhu použitých pohybových elementů a jejich uložení. Nejběžnější používanou variantou jsou různé druhy kol s pneumatikami pro použití na nezpevněné letištní ploše a převoz lehkých až středně těžkých vrtulníků, nebo s polyuretanovými plášti vhodnějšími na zpevněné rovné plochy, ale za to s vyšší únosností. Zajímavým řešením by bylo použití pásového podvozku.

4.2.1 Pásové podvozky

Pásové podvozky vynikají výbornými manévrovacími schopnostmi v náročném terénu, ovšem za cenu ztrát třením mezi pásy a pojezdovou plochou, což vede k dimenzování výkonnějších motorů pohonných jednotek, přičemž rozvor mezi pásy a jejich délka mají přímý vliv na manévrovatelnost. Obvykle se u pojezdových zařízení s pásovým podvozkem používá jedna dvojice pásů, ale vyskytují se i konstrukce využívající většího počtu pásů. Otáčení s takto osazeným zařízením je prováděno protisměrným chodem pásů nebo rozdílnou rychlostí poháněných pásů.

4.2.2 Kolové podvozky [8]

Prvotním konstrukčním problémem je volba koncepce (uspořádání) kolového podvozku, zahrnující určení počtu kol (volně otočných = běžné, hnacích a směrových), hnacího momentu krutu a výkonu zvolené pohonné jednotky. Obvykle se používají tři nebo čtyři kola. Čtyři kola zajišťují větší stabilitu jízdy, zvláště jsou-li všechna poháněna. Tříkolové jsou konstrukčně jednodušší, s nižší hmotností a lepší možností navigace, ale složitějším řízením do požadovaného směru. Kola větších průměrů dovolují překonat i malé překážky (výšky cca 5 cm) ležící na podlaze, ovšem za cenu výše položeného těžiště vozidla (zhoršení jízdních vlastností) a snížení přesnosti polohování.



Obr. 4.6: Tříkolový podvozek [8]

4.2.3 Mechanismus natáčení

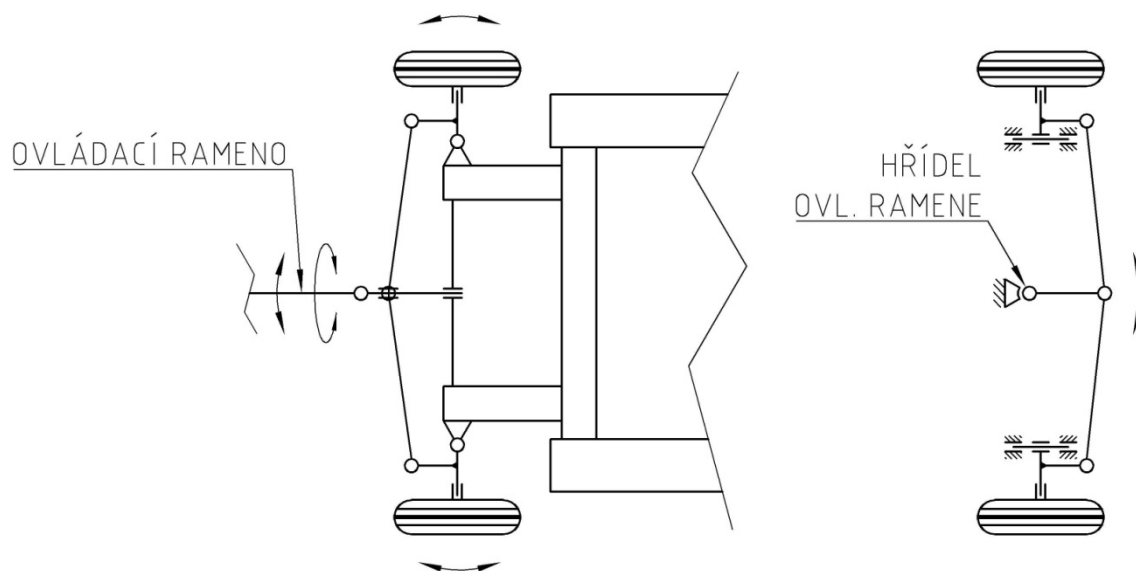
Provedení mechanismu natáčení kol se odvíjí zejména od způsobu ovládní zařízení. Zařízení určená k odtažení pomocí tažného stroje nebo manuálně obsluhou, budou mít ovládní natáčení kol mechanicky propojeno s táhlem nebo ovládacím ramenem. Naopak zařízení koncipovaná jako samostatné jednotky přizpůsobené k ovládní na dálku nebo zcela zautomatizovaná, budou natáčena mechanismy poháněnými některým druhem servomotorů.

Absolutně nejméně konstrukčně náročným řešením je umístění kol na tzv. otočné vlečné patky, které se například používají u nákupních vozíků. Takto konstrukčně řešené kolové sestavy se obecně nazývají kladky. Pokud těmito kladkami osadíme pojezdové a zvedací zařízení, směr jízdy určíme pouhým tažením nebo tlačáním zařízení požadovaným směrem. K usnadnění manipulace a pojíždění se zařízením nesoucím vrtulník při takto navrženém způsobu zatáčení je na nenatáčivá kola připevněn přídatný pohon. Nevýhodou

umístění otočných kladek jen v přední nebo zadní části zařízení je, že při provádění zatáčení a manipulace je velmi snižena manévrovací schopnost se zařízením, a to vlivem ne zcela kontrolovaného natáčení kol na patkách.

Jako druhou nejjednodušší možností řešení mechanismu natáčení se jeví manuální ovládání jednoho předního kola, popřípadě soukolí (nápravy), ovládacím ramenem, s kterým je manipulováno přímo obsluhou. Takto ovládaná konzole s kolem je otočně upevněna na svislém čepu a je propojena s ovládacím ramenem umožňujícím jak natáčení kola, tak kyvný pohyb ramene nahoru a dolů. Toto řešení je také vhodné pro použití tažného zařízení, které se na letištích běžně aplikuje pro manipulaci s letadly. V případě použití tažného zařízení také odpadá využití jakéhokoli pomocného pohánění kol. Dvě výše zmiňované varianty jsou schematicky nakresleny v příloze P7

Pokud bychom uvažovali, že na ovládané straně pojezdového a zvedacího zařízení budou kola dvě, nabízí se nám podobné řešení ovládání zatáčení, jako je tomu u automobilů. Dvě rovnoběžná souose umístěná kola jsou spolu svázána mechanismem táhel, umožňujícím po naklonění ovládacího ramene natočení kol požadovaným směrem. Mechanismus ovládání využívá společnost Paravion Technology Inc. u svých Heliporterů. Značnou nevýhodou je poměrně velký poloměr zatáčení při maximálním natočení kol. To má za následek velké snížení manévrovacích schopností zařízení.

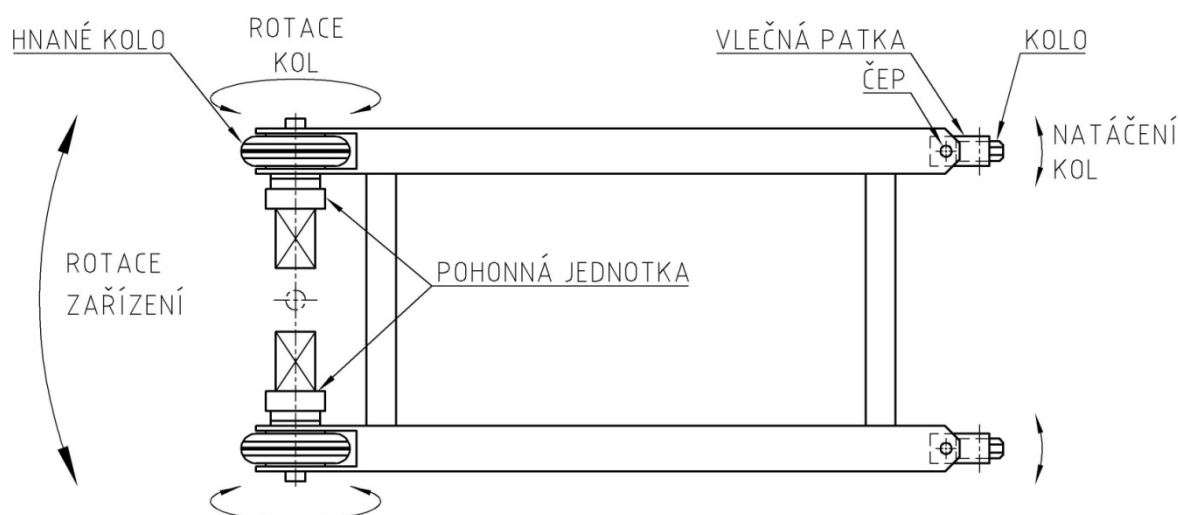


Obr. 4.7: Ovládání předních kol

V opačném případě, kdy je zapotřebí vysokých manévrovacích schopností zařízení, je nutná schopnost mechanismu dosahovat přesných natočení, nejlépe všech kol. Toho lze dosáhnout použitím servomotoru a propojením jednotlivých konzol, na kterých jsou kola upevněna. Z hlediska manévrovatelnosti je nejvýhodnější separované propojení ovládání

souosých párů kol – jejich otočných konzol. V případě synchronního natočení všech kol docílíme schopnosti pojezdu zařízení ve všech směrech rovnoběžných s rovinou letištní plochy aniž bychom musely celé zařízení natáčet. Pokud však chceme se zařízením zatáčet, stačí natočit pár ovládaných kol v zadní části zařízení s kolem (koly) v přední části vůči sobě např. o 90°, a tak docílit rotačního pohybu celého zařízení kolem nějakého bodu nacházejícího se mimo oblast zařízení. Provázání těchto konzol je realizováno řetězovým převodem. Místo řetězů lze také použít ozubené řemeny. Polohu natočení kol, neboli jejich úhel natočení, zkontrolujeme inkrementálním snímačem umístěným na hřídeli motoru. Tím docílíme možnosti relativně přesného natáčení kol do libovolné polohy a určení námi požadovaného směru jízdy pojezdového a manipulačního zařízení. Nevýhodou tohoto řešení je nutná potřeba vysoké úrovně řídicího systému a ovládání. V případě špatného seřízení ovládacích prvků by docházelo k nepřesnému a nedokonalému ovládání a manévrování se zařízením. Vzhledem k vyšší složitosti je schematický náčrt uveden v příloze P7.

Natáčení zařízení docílíme i tím, že osadíme souose umístěná pojezdová kola v zadní nebo přední části pohonnými jednotkami. V případě, že se jedno kolo bude otáčet opačným směrem než druhé a kola na opačné straně zařízení budou koncipována s umístěním na vlečných patkách, nastane rotace zařízení kolem středu myšlené osy nacházející se v polovině vzdálenosti obou pojezdových kol a procházející společnou osou takto poháněných kol. Posunem takto poháněných kol směrem do středu zařízení docílíme posunu středu rotace zařízení a tím možnosti otáčení s vrtulníkem v ose jeho těžiště, což je z kinematického hlediska nejvýhodnější.



Obr. 4.8: Zatáčení protisměrným chodem pohonů

4.2.4 Pohon pojezdu

Pohon pojezdu je vhodné použít u všech pojezdových a manipulačních zařízení, která jsou koncipována pro manuální popojíždění. Zařízení konstruovaná jako automatizované samostatné jednotky bez vlečných elementů, řízené na dálku, využívají pohonů pojezdu ke svému pohybu. Pokud však naše zařízení bude koncipováno jako vlečné, určené k připojení za nějaké tažné vozidlo, pohánění pojezdu musí být v takovém provedení, aby nedošlo k jeho poškození při použití tahače, popřípadě bude zařízení koncipováno bez pohonu pojezdu. U varianty určené pro manuální pojezd a zároveň vrtulníky s velmi nízkou hmotností je také možno pohon pojezdu na zařízení neumisťovat.

U většiny případů, kde jsou pohony pojezdu používány, je nejčastěji volena varianta nasazení elektrického asynchronního elektromotoru s kotvou nakrátko, osazeným převodovkou a pojistnou spojkou přímo na osu pojezdového kola. U tohoto provedení můžeme namísto asynchronního elektromotoru, použít také rotační hydromotor. Rotační hydromotory vynikají oproti elektromotorům o stejném výkonu malou hmotností na jednotku přenášeného výkonu, malým momentem setrvačnosti a snadnou říditelností otáček. [9] Výhodou tohoto řešení je bezesporu možnost ovládní směru natočení kteréhokoli pojezdového kola a tím dosažení vysokých manévrovacích schopností daného zařízení.

Další možností je pohánění páru souose umístěných kol (nápravy), propojených hřídelí spojenou s převodovkou, na níž je nasazen pohon. Přenos momentu krutu mezi převodovkou a hřídelí je realizovatelný řetězovým nebo řemenovým převodem. Pojistná spojka je umístěna hned za motorem. Výhodou takového zapojení je menší moment krutu působící na spojkou, a z toho vyplývající možnost použití pojistné spojky s menší únosností a tím i menšími zástavbovými rozměry.

4.3 Uchycení vrtulníku

Z hlediska funkčnosti pojezdového a zvedacího zařízení pro vrtulníky je velmi důležité správné uchopení vrtulníku. Uchopovací systém musí být řešen co nejjednodušeji, aby umožňoval rychlou a jednoduchou manipulaci při aretaci vrtulníku k nosným částem zvedacího mechanismu. Musí být navržen tak, aby nedocházelo k samovolnému uvolnění nebo vychýlení vrtulníku z rovnovážné polohy vůči manipulačnímu zařízení a následnému poškození uchopovacího mechanismu či převáženého vrtulníku.

Systémy uchycení vrtulníku lze rozdělit do dvou kategorií:

- Manuální - prováděné přímo obsluhou
- Automatické - řízené obsluhou přes dálkové ovládání nebo zcela automaticky řídicím systémem zařízení.

U mechanismů uchopení určených pro ruční aretaci ližin vrtulníku máme několik možností provedení. Velmi jednoduchou možností je uchycení ližin pomocí speciálních závěsných přichytek umístěných na zvedacích ramenech. Tato ramena jsou řešena jako částečně výsuvná a jsou otočně umístěna na svislých čepech. Toto provedení nám umožňuje sklopení ramen podél zařízení a tím snížení prostorové náročnosti při manipulaci v nenaloženém stavu. Další výhodou je možnost uchycení ližin různých provedení a tak využít zařízení na přepravu více druhů vrtulníků. Variabilita využití se úzce odvíjí od provedení aretace ližin. To může být provedeno pomocí závěsných přichytek nebo stahovacího pásu podvlékaného pod ližinou a ukotveného na zvedacím rameni. Ramena jsou umístěna na obou stranách zvedaného rámu nebo platformy a mohou být navržena jako závěsná nebo v kombinaci pár závěsných ramen s párem ramen vyrovnávacích. Volba ramen závisí na umístění těžiště vrtulníku a uchopovacích bodů na ližinách vrtulníku. Provedení ramen je rozlišeno zejména použitím zvedacího mechanismu, princip částečného výsuvu však zůstává u všech stejný, liší se zejména upevněním na zvedací mechanismus a rozměrovými dispozicemi. Nevýhodou závěsných mechanismů je fakt, že při neopatrné jízdě s naloženým vrtulníkem po nebezpečné ploše nebo při neopatrném manévrování, může dojít ke kolébání naloženého vrtulníku, a tím v krajních případech i k poškození manipulačních zařízení. Provedení ramen je vyobrazeno v příloze P5.

Automatizované uchopování lze řešit rozevřením/sevřením samostatných unášeců zařízení k ližinám, usazením ližin do tvarových sedel a následnou aretací v těchto sedlech. Aretace je řešena automatickým zamknutím ližin ve tvarových sedlech pomocí uchopovacích ramen. To vede k vysoké náročnosti na provedení konstrukce pojezdového a zvedacího mechanismu a také k vysokým nárokům na řídicí systém. Výhodou je univerzální využití pro mnoho druhů vrtulníků s ližinovým podvozkem, odvíjející se od provedení a rozsahu rozevření mechanismu pohybujícího s unášeči.

5 Volba mechanismů

5.1 Požadavky

Při volbě jednotlivých mechanismů budeme vycházet ze základních požadavků na toto pojezdové a zvedací zařízení. Zařízení je určeno pro ruční obsluhu jedním člověkem. Musí umožňovat jednoduché a snadné upevňování zvedacích elementů k vrtulníku, musí být snadno ovladatelné s důrazem na manévrovací schopnosti. Vzhledem k tomu, že letištní plocha nebývá vždy dokonale rovná a zpevněná, je požadováno, aby toto zařízení bylo schopné se vypořádat s případnými drobnými nerovnostmi. Zdvih a pokládání vrtulníku jsou požadovány s plynulým chodem. Při příjíždění k vrtulníku (pod něj), uchopování a zdvihu nesmí docházet k poškození jakýchkoli částí nebo příslušenství vrtulníku. Zařízení není nutné konstruovat pro zdvih vrtulníků s ližinami osazenými příslušenstvím jako například přídatným zavazadlovým prostorem, záchranným lehátkem atd. V neposlední řadě by zařízení mělo mít co nejnižší hmotnost a mělo by být cenově přijatelné pro běžné letecké společnosti i menší soukromá letiště.

5.2 Pojezdový mechanismus

S ohledem na výše jmenované požadavky se jako nejvhodnější varianta jeví tříkolový podvozek se všemi směrově ovládanými koly pomocí pohonů (Obr. 4.14). Tato varianta je však velmi drahá a z konstrukčního a programového hlediska velmi náročná. Oproti tomu podvozek osazený otočnými kladkami (Obr. 4.11) je nejlevnější variantou, ale nedosahuje takových manévrovacích schopností. Navíc, při použití všech kladek natáčecích by nebylo možné využít přídatných pohonů pojezdu pro usnadnění pojíždění se zařízením. Jako nejvhodnější varianta vychází provedení zařízení se dvěma separátně poháněnými souose umístěnými koly na straně přední a otočnou kladkou na straně zadní. Určení směru jízdy a natáčení zařízení bude prováděno protisměrným smyslem otáčení poháněných kol (Obr. 4.14). Toto provedení se vyznačuje relativně dobrými manévrovacími schopnostmi a jednoduchou konstrukcí. Nevýhodou je složité provedení programového a elektronického vybavení a řídicího systému. Ovládaná kola budou poháněna elektromotory osazenými převodovkou.

5.3 Mechanismus zdvihu a uchopení

Volba vhodného mechanismu zdvihu a uchopení závisí zejména na požadavku zajištění stálé polohy převáženého vrtulníku vůči pojezdovému a zvedacímu zařízení, výšky zdvihu, rozměrů zařízení a v neposlední řadě na univerzálnosti a ergonomii. Od toho se odvíjí specifické nároky na konstrukci celého stroje. Pokud bychom zvolily konstrukční variantu s dvojitým rámem, musely bychom z nároků na tuhost uvažovat vysoké pevnostní nároky na horní (zdvižný) rám a z toho vyplývající rozměrovou náročnost. To platí jak pro použití kyvného mechanismu, tak mechanismu nůžkového. Vzhledem k maximální výšce zařízení dané minimální světlostí ližinového podvozku (300 mm) je tato varianta při zachování jednoduché konstrukce a tuhosti zařízení, nevhodná. Naopak mechanismy zdvihu konstruované na jednoduchý rám mají výhodu v jejich relativní jednoduchosti a tuhosti. S ohledem na předchozí volbu pojezdového mechanismu vychází jako nejvhodnější mechanismus s výklopnými rameny a nůžkový mechanismus poháněný hydraulickým válcem. Nůžkový mechanismus je však primárně konstruován pro zdvižení vrtulníku pouze na jedné (přední) straně, zadní strana se osazuje pojezdovými koly na ližinách.

Pokud tedy chceme dosáhnout zdvihu celého vrtulníku a zachovat výše zmiňované pohybové schopnosti zařízení, je nejvhodnější použít mechanismus s výklopnými rameny poháněný hydraulickým válcem. Přenos síly potřebné ke zdvihu bude mezi výklopnými rameny řešen pomocí táhel. K zajištění univerzálnosti uchopení ližin je v tomto případě nejvhodnější aplikace teleskopických ramen s univerzálními závěsnými příchytkami. Zabránění nechtěnému vysunutí teleskopických ramen napomáhá tíhová síla od zdviženého vrtulníku. Problém může nastat při rychlém přejetí větší nerovnosti na povrchu letištní plochy, kdy by vrtulník mohl takzvaně nadskočit. Proto je nutné pojezdovou rychlost při převážení vrtulníku omezit, nebo po zdvižení vrtulníku teleskopické ramena mechanicky zajistit proti vysunutí např. aretačními šrouby.

5.4 Zvolené provedení

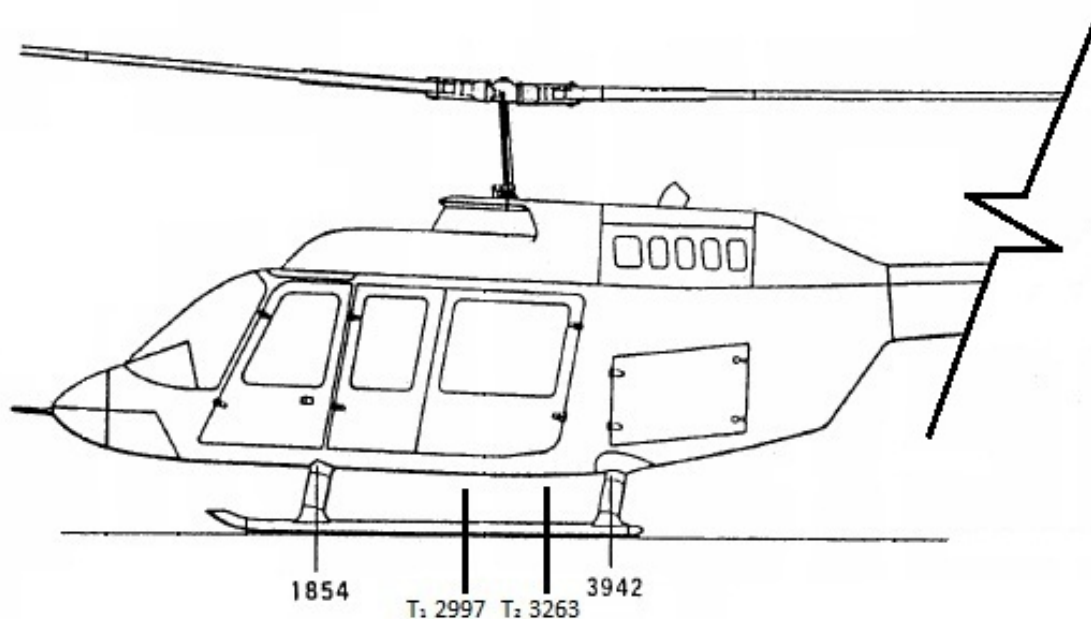
Jako nejvhodnější konstrukční řešení tedy vyplývá provedení s jednoduchým rámem, kde je zdvih vrtulníku řešen výklopnými rameny poháněnými dvojčinnými přímočarými hydraulickými motory s jednostrannou pístnicí. Mechanismus pojezdu je proveden tříkolovým podvozkem s jednou vysokozátěžovou dvojitou otočnou kladkou a dvěma odděleně poháněnými pojezdovými koly s vysokou únosností.

6 Výpočty

Výpočty budeme provádět pouze pro vrtulník BELL 206-L, a to z důvodu jeho větších rozměrů a vyšší hmotnosti oproti BELL 206-B3. Při výpočtech tedy budeme vycházet, z leteckého manuálu pro BELL 206-L [10].

6.1 Těžiště vrtulníku

Vzhledem k možné nerovnoměrnosti rozložení hmotnosti vrtulníku dané především variabilní možností vybavení interiéru pro cestující (rozmístění křesel), množstvím paliva v nádrži, osazeným příslušenstvím a rozložením nákladu v zavazadlovém prostoru se těžiště vrtulníku může pohybovat v rozmezí $T_1 = 2997$ až $T_2 = 3263$, viz Obr 6.1 a letecký manuál [10].



Obr 6.1: Těžiště vrtulníku (převzato a upraveno z [10])

6.2 Zvedaná hmotnost

Dle zadání je zařízení určeno ke zvedání vrtulníků do hmotnosti 2000 kg. K této nominální hodnotě, z důvodů bezpečnosti, přičteme 15% nominální hmotnosti. Nesmíme také zapomenout na hmotnost zvedaných částí mechanismu zdvihu. Tím pokryjeme i verzi vrtulníku BELL 206L-4, která má maximální vzletovou hmotnost 2018 kg (Tab. 2.1).

6.2.1 Výpočet zvedané hmotnosti

$$m_{zh} = m_v + m_b + m_z \quad (6.1)$$

$$m_{zh} = 2000 + 300 + 158,6 = 2458,6 \text{ Kg}$$

$$m_{zh} = 2458,6 \text{ Kg}$$

$$m_v = 2000 \text{ Kg} \quad \text{nosnost zařízení}$$

$$m_b = 300 \text{ Kg} \quad \text{hmotnost přidaná z důvodu bezpečnosti a přetížení}$$

$$m_z = 158,6 \text{ Kg} \quad \text{hmotnost zvedaných částí mechanismu}$$

6.3 Síly působící na zvedací ramena

6.3.1 Celková zatěžující síla

$$G_c = m_{zh} \cdot g \quad (6.2)$$

$$G_c = 2458,6 \cdot 9,81 = 24118,9 \text{ N}$$

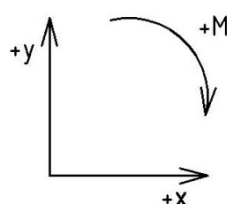
$$G_c = 24118,9 \text{ N}$$

$$m_{zh} = 2458,6 \text{ Kg} \quad \text{zvedaná hmotnost}$$

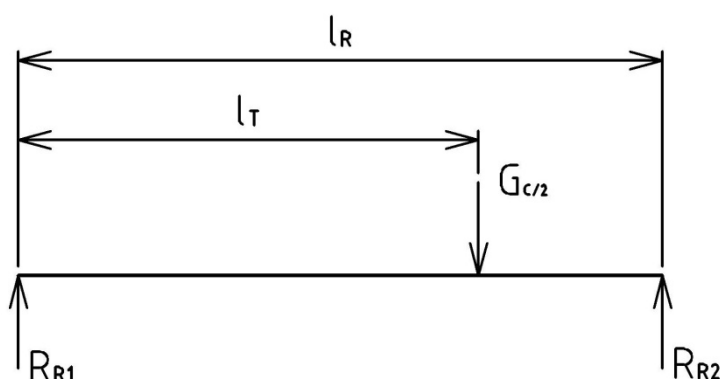
$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad \text{gravitační zrychlení}$$

6.3.2 Síly působící na jednotlivá ramena

Vzhledem k tomu, že zdvihový mechanismus je symetrický dle vertikální osy, jsou působící síly vypočteny pouze pro jednu polovinu. Uvažujeme tedy velikost zatěžující síly ($G_{c/2}$) poloviční vůči celkové zatěžující síle. Výpočet sil je proveden v obou případech umístění těžiště, tedy v bodě T_1 a T_2 dle Obr. 6.1. Pro jednoznačnou orientaci zavedeme jednotný souřadný systém, který bude platný pro všechny nadcházející výpočty mechanismu.



Obr 6.2: Souřadný systém



Obr 6.3: Síly působící na ramena

Dle Obr. 6.3 sepíšeme rovnice rovnováhy sil a momentů a z nich vyjádříme síly působící na zvedací ramena (R_{R1} a R_{R2}).

$$\sum M_{iR1} = 0$$

$$G_{c/2} \cdot l_T - R_{R2} \cdot l_R = 0 \Rightarrow R_{R2} \tag{6.3}$$

$$R_{R2} = \frac{G_{c/2} \cdot l_T}{l_R} = \frac{12060 \cdot 1000}{1400} = 8614,3 \text{ N} \tag{6.4}$$

$$R_{R2} = 8614,3 \text{ N}$$

$$\sum F_{iy} = 0$$

$$R_{R1} + R_{R2} - G_{c/2} = 0 \Rightarrow R_{R1} \quad (6.5)$$

$$R_{R1} = -R_{R2} + G_{c/2} = 3445,7 \text{ N} \quad (6.6)$$

$$R_{R1} = 3445,7 \text{ N}$$

$G_{c/2} = 12060 \text{ N}$	zatěžující síla v těžišti T_2
$R_{R1} = 3445,7 \text{ N}$	reakce na rameni R1
$R_{R2} = 8614,3 \text{ N}$	reakce na rameni R2
$l_R = 1400 \text{ mm}$	rozteč zdvihacích ramen R1 a R2
$l_T = 1000 \text{ mm}$	vzdálenost těžiště od ramene R1

Analogicky vypočteme reakce na ramenech pro polohu těžiště T_2 , kde vzdálenost těžiště od ramene R1 bude 734 mm.

Obdržíme následující hodnoty:

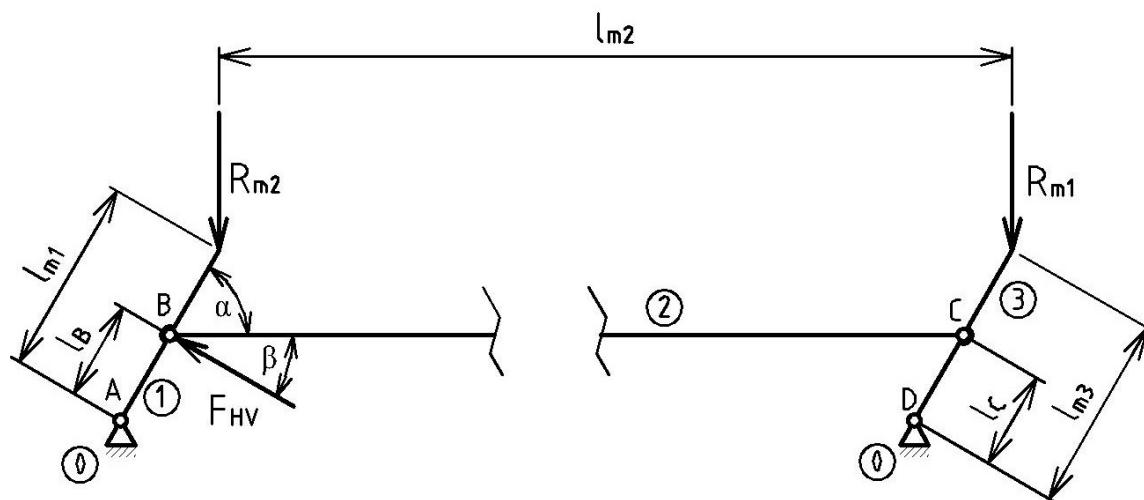
$$R_{R1} = 5737 \text{ N}$$

$$R_{R2} = 6323 \text{ N}$$

Vypočtené hodnoty reakcí na ramenech R1 a R2 však platí pouze pro případ, kdy je zařízení ideálně umístěno pod vrtulník a ten je k zařízení správně připevněn. Pro to je kladen velký důraz na umístění zařízení pod vrtulník a jeho následnou aretaci. Utahovací šroub musí být vždy pevně dotažen! Z hlediska vyšší bezpečnosti budou výše uvedené hodnoty R_{R1} a R_{R2} pro následující výpočty v kap. 6.4 a pevnostní výpočty zvedacích ramen v kap. 6.7.1, zvýšeny o 10%.

6.4 Síly působící na mechanismus zdvihu

6.4.1 Síly mechanismu zdvihu



Obr 6.5: Mechanismus zdvihu

Rozměry mechanismu:

$$l_{m1} = l_{m3} = 220 \text{ mm}; l_B = l_C = 90 \text{ mm}; l_{m2} = 1400 \text{ mm}$$

Počet stupňů volnosti soustavy:

$$i = (n_i - 1) \cdot i_v - (\sum \xi_j - \eta) \quad (6.12)$$

$$i = (4 - 1) \cdot 3 - (8 - 0) = 1$$

$$i = 1$$

$\eta = 0$ počet omezených deformačních parametrů

$i_v = 3$ počet stupňů volnosti volného tělesa

$\sum \xi_j = 8$ počet stupňů volnosti odebraných vazbami

$(n_i - 1) = 3$ počet těles bez základního tělesa

Rovnice mechanismu zdvihu uvedené v příloze P1 převedeme do maticového zápisu $Ax=B$, kde:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\cos \beta \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin \beta \\ 0 & 0 & \sin \alpha \cdot l_B & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin(\alpha + \beta) \cdot l_B \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha \cdot l_C & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$x = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -\cos \alpha \cdot l_{m1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ \cos \alpha \cdot l_{m3} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} R_{Ax} \\ R_{Ay} \\ R_{Bx} \\ R_{By} \\ R_{Cx} \\ R_{Cy} \\ R_{Dx} \\ R_{Dy} \\ F_{HV} \end{pmatrix}$$

Dále řešíme dle vztahu $A^{-1}B=x$. Výsledné hodnoty jsou zapsány v Tab. 6.1.

Tab. 6.1: Výsledné síly

Poloha těžiště	1		2	
Zdvih [mm]	0	80	0	80
α [°]	28,72	59,43	28,72	59,43
β [°]	10,41	15,09	10,41	15,09
R_{Ax} [N]	20559,41	8287,85	9969,6	4890,33
R_{Ay} [N]	3368,84	6134,31	203,8	2962,27
R_{Bx} [N]	12681,79	4104,62	23271,6	7532,1381
R_{By} [N]	0	0	0	0
R_{Cx} [N]	12681,79	4104,62	23271,6	7532,1381
R_{Cy} [N]	0	0	0	0
R_{Dx} [N]	12681,79	4104,62	23271,6	7532,1381
R_{Dy} [N]	3790,27	3790,27	6955,3	6955,3
F_{HV} [N]	33797,5	12835,1	33797,5	12835,1

6.4.5 Průměr pístu hydraulického válce

$$p_p = \frac{F_{HVmax}}{S_p} = \frac{F_{HVmax}}{\frac{\pi \cdot d_p^2}{4}} \Rightarrow d_p \quad (6.13)$$

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{HVmax}}{\pi \cdot p_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 33797,5}{\pi \cdot 16}} = 51 \text{ mm} \quad (6.14)$$

$$d_p = 51 \text{ mm}$$

$$p_p = 16 \text{ MPa} \quad \text{pracovní tlak pístu}$$

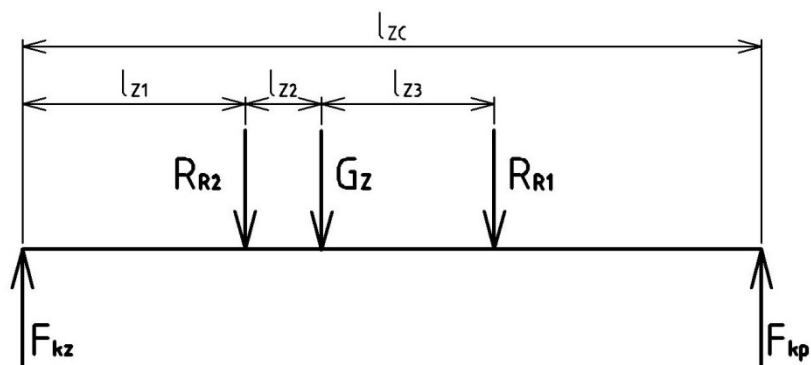
$$F_{HVmax} = 33797,5 \text{ N} \quad \text{maximální síla působící na hydraulický válec (z Tab. 6.1)}$$

$$d_p = 51 \text{ mm} \quad \text{minimální průměr pístu}$$

V interaktivním katalogu výrobce Bosch Rexroth AG [11] byl zvolen hydraulický válec o průměru pístnice 63 mm a potřebném zdvihu 55 mm, který byl zjištěn v programu Autodesk Inventor 2011. Tento hydraulický válec však při pracovním tlaku 16 MPa převyšuje naše požadavky na zvedací sílu. Aby nedošlo k přetížení zvedacích částí zařízení, bude hydraulický obvod válce opatřen sekundárním pojistným ventilem nastaveným na potřebný tlak.

6.5 Síly působící na rám zařízení

U výpočtu sil působících na rám zařízení, který provádíme pro zjištění požadované nosnosti pojezdových kol, vycházíme ze statického zatížení rámu vrtulníkem. Takto zatížený mechanismus vyšetřujeme ve dvou krajních polohách umístění zatěžující síly od vrtulníku. První poloha je při umístění těžiště ve stavu T_1 a při zdvižených ramenech, naopak druhá pro umístění v poloze T_2 a snížených ramenech.



Obr 6.6: Síly působící na rám zařízení

Poloha č. 1:

Rozměry:

$$l_{zc} = 3000\text{mm}; l_{z1} = 710\text{ mm}; l_{z1} + l_{z2} = 550\text{ mm}; l_{z2} + l_{z3} = 1400\text{ mm}$$

$$\sum F_{iy} = 0$$

$$F_{kz} + F_{kp}' - R_{R1} - R_{R2} - G_z = 0 \quad (6.15)$$

$$\sum M_{kz} = 0$$

$$R_{R2} \cdot l_{z1} + G_z \cdot (l_{z1} + l_{z2}) + R_{R1} \cdot (l_{z1} + l_{z2} + l_{z3}) - F_{kp}' \cdot l_{zc} = 0 \quad (6.16)$$

Po úpravě a dosazení do rovnic 6.24 a 6.25 získáme následující hodnoty:

$$F_{kz1} = 13257,1\text{ N} \quad \text{síla působící na zadní dvojkolo}$$

$$F_{kp1} = 2 \cdot F_{kp}' = 12015,6\text{ N} \quad \text{síla působící na přední kolo}$$

Poloha č. 2:

Rozměry:

$$l_{zc} = 3000\text{mm}; l_{z1} = 780\text{ mm}; l_{z1} + l_{z2} = 550\text{ mm}; l_{z2} + l_{z3} = 1400\text{ mm}$$

Analogicky dle vztahů 6.24 a 6.25 vypočteme síly působící na pojezdová kola a obdržíme hodnoty:

$$F_{kz2} = 13441,7N$$

$$F_{kp2} = 2 \cdot F_{kp}' = 11648,6 N$$

6.6 Volba pojezdových kol

Na základě vypočtených sil působících na rám zařízení byla do přední části zařízení zvolena otočná kladka pro vysoké zatížení o průměru kola 200mm, typ LSD-GTH [12]. Zadní kola jsou určena pro hnací funkci, proto jsou zvolena kola s drážkou pro pero a vnějším průměrem 300 mm, typ GEVN. Vzhledem k tomu, že na zadní kola působí síla o velikosti $F_{kz2} = 13441,7N$ jsou na každé straně v páru. Bližší informace o provedení kol na [13].

6.7 Pevnostní výpočty

6.7.1 Zvedací ramena

Výpočet provádíme v poloze, kdy jsou výsuvná ramena s úchyty nad ližinami. Výsuvná ramena v tomto případě považujeme za nedílnou součást ramen zvedacích. Průběh napětí působícího na zvedací ramena je vyřešen v příloze P2.

Maximální napětí v ohybu:

$$\sigma_R = \frac{|M_{omax}|}{W_{oR}} = \frac{|M_{omax}|}{\frac{\pi \cdot (D_R^4 - d_R^4)}{32 \cdot D_R}} \quad (6.17)$$

$$\sigma_R = \frac{6680157}{\frac{\pi \cdot (89^4 - 71^4)}{32 \cdot 89}} = 162,2 MPa$$

$$\sigma_R = 162,2 MPa$$

Dovolené napětí:

$$\sigma_{DR} = \frac{R_{eR}}{k} = \frac{260}{1,5} = 173,4 \text{ MPa} \quad (6.18)$$

$$\sigma_R \leq \sigma_{DR} \quad (6.19)$$

Z vypočtených hodnot vyplývá, že zvolený materiál a rozměry použitých trubek vyhovuje.

$D_R = 89 \text{ mm}$	vnější průměr trubky ramene
$d_R = 71 \text{ mm}$	vnitřní průměr trubky ramene
$W_{oR} = 41178,9 \text{ mm}^3$	průřezový modul v ohybu
$R_{eR} = 260 \text{ MPa}$	mez kluzu materiálu ramen 11 503
$k = 1,5$	koeficient bezpečnosti

6.7.2 Výsuvná ramena

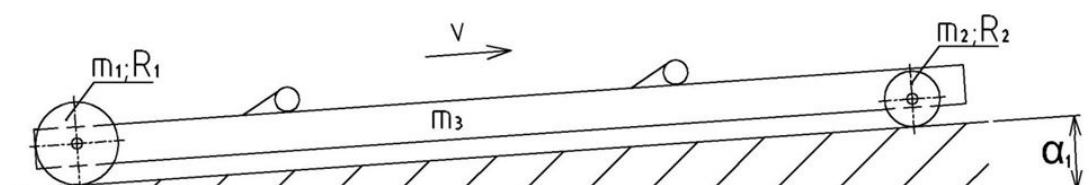
Vzhledem k analogii výpočtu je kontrola výsuvných ramen provedena v příloze P3.

6.7.3 Výpočet čepů

Z Tab. 6.1 vyplývá, že největší zatížení je na čepu v místě B (Obr 6.5), kde je připevněn hydraulický válec a táhlo. Vypočtený průměr tohoto čepu bude použit i v místech mechanismu A, C a D. Tím zajistíme vyšší kompatibilitu a sériovost vyráběných a náhradních dílů. Vzhledem k tomu, že vnější síly působící na čep nejsou v jednom směru, musíme při výpočtu sílu od válce F_{HV} rozložit do os „x“ a „y“. Vyšetření průběhu namáhání a následný pevnostní výpočet je uveden v příloze P4.

6.8 Návrh pohonu zařízení

Charakteristika pohonu je dána rychlostí pojezdu a dobou za kterou má zařízení dosahovat dané pojezdové rychlosti. Návrh pohonu pojezdových kol řešíme dle postupu uvedeného v literatuře [14].



Obr 6.7: Zatížení zařízení

$m_1 = 16,4 \text{ kg}$	hmotnost zadního kola (hnacího)
$m_2 = 4,19 \text{ kg}$	hmotnost předního kola
$m_3 = 3058,6 \text{ kg}$	hmotnost zařízení s vrtulníkem
$R_1 = 0,15 \text{ m}$	poloměr zadního kola
$R_2 = 0,10 \text{ m}$	poloměr předního kola
$v = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	rychlost pojezdu s vrtulníkem
$\alpha_1 = 2,5^\circ$	úhel stoupání

6.8.1 Redukovaný moment setrvačnosti

Vycházíme z rovnice kinetické energie:

$$\frac{1}{2} \cdot I_{red} \cdot \omega^2 = \sum_{i=1}^p \frac{1}{2} \cdot I_i \cdot \omega_i^2 + \sum_{j=1}^q \frac{1}{2} \cdot m_j \cdot v_j^2 \quad (6.20)$$

Po dosazení obdržíme:

$$\frac{1}{2} \cdot I_{red} \cdot \omega_1^2 = 4 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot I_1 \cdot \omega_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v^2 \right) + 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot I_2 \cdot \omega_2^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v^2 \right) + \frac{1}{2} \cdot m_3 \cdot v^2 \quad (6.21)$$

Kde:

$$\omega = v \cdot R^{-1} \quad (6.22)$$

$$I = m \cdot R^2 \quad (6.23)$$

Po úpravě dostáváme redukováný moment setrvačnosti:

$$I_{red} = 4(m_1 \cdot R_1^2) + m_2 \cdot R_2^2 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 + R_1^2 \cdot (4m_1 + 2m_2 + m_3) = \quad (6.24)$$

$$= 4(16,4 \cdot 0,15^2) + 4,19 \cdot 0,1^2 \cdot \left(\frac{0,15}{0,1} \right)^2 + (4 \cdot 16,4 + 2 \cdot 4,19 + 3058,6) \cdot 0,15^2 =$$

$$= 72,054 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{red} = 72,054 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

6.8.2 Kroutící moment motoru

$$M_k = M_{kdyn} + M_{kstat} = \quad (6.25)$$

$$= I_{red} \cdot (\Delta\omega \cdot \Delta t^{-1}) + 4(F_{nz} \cdot \xi) + 2(F_{np} \cdot \xi) + (4m_1 + 2m_2 + m_3) \cdot g \cdot \sin\alpha_1 \cdot R_1 =$$

$$= 72,054 \cdot \frac{4}{10} + 4(6720,85 \cdot 0,02) + 2(6008,41 \cdot 0,02) + (3132,6) \cdot 9,81 \cdot \sin 2,5^\circ \cdot 0,15 =$$

$$= 284,63 \text{ Nm}$$

$$M_k = 284,63 \text{ Nm}$$

M_{kdyn} [N · m] dynamický kroutící moment

M_{kstat} [N · m] statický kroutící moment potřebný k překonání odporů

$F_{np} = F_{kp}/2$ [N] síla působící na jedno přední kolo

$$F_{nz} = F_{kz}/2 \text{ [N]} \quad \text{síla působící na jedno zadní kolo}$$

$$\xi = 0,02 \text{ [m]} \quad \text{rameno valivého odporu}$$

6.8.3 Výkon motoru

$$P = M_k \cdot \omega_1 \tag{6.26}$$

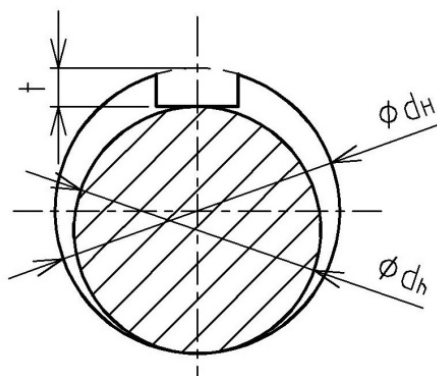
$$= 284,63 \cdot (0,6 \cdot 0,15^{-1}) = 1138,5 \text{ W}$$

$$P = 1138,5 \text{ W}$$

6.9 Výpočet hřídele hnacích kol

6.9.1 Návrh hřídele

Průměr hřídele:



Obr 6.8: Minimální průměr hřídele

$$\tau_h = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d_h^3}{16}} \leq \tau_{hD} \Rightarrow d_h \tag{6.27}$$

$$d_h = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \tau_{hD}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 284,63}{\pi \cdot 58 \cdot 10^6}} = 0,02924 \text{ m} \tag{6.28}$$

$$d_h = 29,24 \text{ mm}$$

$$d_H = d_h + t = 29,24 + 4,7 = 33,94 \text{ mm} \quad (6.29)$$

Z vypočtené hodnoty dle vztahu (6.29) volím dle [15], str. 176 průměr hřídele hnacích kol $d_H = 35 \text{ mm}$.

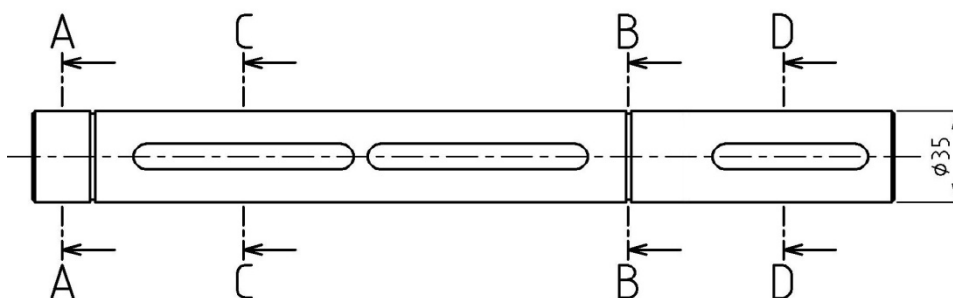
$d_h = 29,24 \text{ mm}$	minimální průměr hřídele
$d_H = 35 \text{ mm}$	navržený průměr hřídele
$t = 4,7 \text{ mm}$	hloubka drážky pro pero
$\tau_{hD} = 58 \text{ MPa}$	dovolené namáhání oceli 11 523 v krutu dle [16], str.104
$W_k [\text{mm}^3]$	průřezový modul v krutu

6.9.2 Zatížení hřídele

Z průběhu zatížení hřídele, které je znázorněno v příloze P9 je zřejmé, že největší zatížení hřídele je v řezu II.

6.9.3 Kontrolní výpočet

Hřídel hnacích kol je po celé délce navržena se stejným průměrem. Jediná kritická místa na hřídeli mohou být drážky pro pero a zápichy pro pojistné kroužky. Vzhledem k tomu, že ohybový moment je v místech, kde jsou zápichy pro pojistné kroužky, několikrát menší a kroučící moment je ve všech místech stejný, provádíme kontrolu hřídele pouze v místě řezu C viz. Obr. 6.9.



Obr 6.9: Kritické řezy hřídele

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{oH} = \frac{|M_{oII}|}{W_{oH}} = \frac{|M_{oII}|}{\frac{\pi \cdot d_{H'}^3}{32}} = \frac{480540,775}{\frac{\pi \cdot 30,3^3}{32}} = 176 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oH} = 176 \text{ MPa}$$

$d_{H'} = 30,3 \text{ mm}$ navržený průměr hřídele po odečtení hloubky drážky pro pero
 $W_{oH} [\text{mm}^3]$ průřezový modul hřídele v ohybu

Napětí v krutu:

$$\tau_{kH} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d_{H'}^3}{16}} = \frac{284630}{\frac{\pi \cdot 30,3^3}{16}} = 52,2 \text{ MPa} \quad (6.30)$$

$$\tau_{kH} = 33,82 \text{ MPa}$$

Redukované napětí dle HMH:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{oH}^2 + 3\tau_{kH}^2} = \sqrt{176^2 + 3 \cdot 52,2^2} = 197,9 \text{ MPa} \quad (6.31)$$

$$\sigma_{DH} = \frac{0,6 \cdot R_{mH}}{k_H} \cdot c_{III} = \frac{0,6 \cdot 850}{1,5} \cdot 0,6 = 204 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{DH}$$

$\sigma_{DH} = 204 \text{ MPa}$ dovolené namáhání hřídele
 $R_{mH} [\text{MPa}]$ mez pevnosti pro materiál 11 700
 $k_H = 1,5$ koeficient bezpečnosti hřídele
 $c_{III} = 0,6$ součinitel snížení napětí pro mat. 11 700 – střídavé namáhání

6.9.4 Těsné pero

Minimální délka pera:

$$l_p = \frac{2 \cdot Mk}{p_D \cdot d_H \cdot t_1} = \frac{2 \cdot 284625}{130 \cdot 35 \cdot 3,3} = 37,9 \text{ mm} \quad (6.32)$$

$$p_D = \frac{0,6 \cdot R_{ms}}{k} \cdot c_{II} = \frac{0,6 \cdot 510}{2} \cdot 0,85 = 130 \text{ MPa} \quad (6.33)$$

$$l_p = 37,9 \text{ mm}$$

$R_{ms} \text{ [MPa]}$	mez pevnosti pro materiál náboje 11 500
$k = 2$	koeficient bezpečnosti
$p_D \text{ [MPa]}$	dovolený tlak
$t_1 = 3,3 \text{ mm}$	výška pera v náboji

Dle [ST], str. 467 je přípustné pero minimální délky $l_{pH} = 40 \text{ mm}$.

Kontrola pera na smyk:

$$\tau_p = \frac{2 \cdot Mk}{l_{pH} \cdot d_H \cdot b_p} = \frac{2 \cdot 284625}{40 \cdot 35 \cdot 10} = 40,7 \text{ MPa} \quad (6.34)$$

$$\tau_p \leq \tau_{pD}$$

$b_p \text{ [mm]}$	šířka pera
$\tau_p \text{ [MPa]}$	smykové namáhání pera
$\tau_{pD} = 0,6 \cdot p_D \text{ [MPa]}$	dovolené smykové namáhání pera

6.9.5 Kontrolní výpočet

Hřídel hnacích kol je uložena na jednořadých válečkových ložiscích NJ307 dle ČSN 02 4670.

Ekvivalentní zatížení:

$$F_e = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 1 \cdot 6720,85 + 0 = 6720,85 \text{ N} \quad (6.35)$$

$$X = 1 \quad \text{součinitel dle } F_a/F_r$$

$$Y = 0 \quad \text{součinitel dle } F_a/F_r$$

Trvanlivost ložiska:

$$L_h = \frac{16666}{n} \cdot \left(\frac{C}{F_e}\right)^p = \frac{16666}{38,2} \cdot \left(\frac{36500}{6720,85}\right)^{3,33} = 122768,02 \text{ hod} \quad (6.36)$$

$$p = 3,333 \quad \text{mocnitel dle druhu ložiska}$$

$$C = 36500 \text{ N} \quad \text{základní dynamická únosnost}$$

$$n = 38,2 \text{ s}^{-1} \quad \text{otáčky hřídele}$$

7 Navržené zařízení

Zařízení je konstruováno pro najíždění pod vrtulník ze zadní strany a je určeno k manipulaci s vrtulníky BELL 206B a BELL 206L. Manipulace s oběma typy vrtulníků je docílena možností vysunutí zvedacích ramen do požadované polohy. Aby bylo zajištěno správné uchycení vrtulníku, jsou použity speciální závěsné příchytky od společnosti Helitowcart Inc. Na zadní ramena umísťujeme tvarové příchytky B206B, nebo B206LR, na přední ramena potom příchytky s označením UNIVERSAL, viz.: Obr. 3.5.

Zdvih ramen, na kterých je vrtulník upevněn, je prováděn kyvným mechanismem osazeným hydraulickými válci s tlumením fy. Bosch-Rexroth. Válec s okem u dna je připevněn k rámu čepem tak, aby spojení umožňovalo potřebné naklonění válce při zdvihu. Pístnice je opatřena okem upevněným na čepu unášejícím páky a táhlo zvedacího mechanismu. Jednotlivá ramena jsou navržena s ohledem na bezpečnost a tuhost zařízení. Ramena s pákami mechanismu jsou mezi sebou propojena táhly zajišťujícími rovnoměrný pohyb v závislosti na činnosti hydraulického válce. Výška zdvihu je 80mm. To nám zajistí bezproblémový pohyb i po lehce hrbolatém či nezpevněném terénu.

Pojezd zařízení umožňuje tříkolový podvozek, na jehož přední straně je otočná kladka o nosnosti 1800 kg. V zadní části jsou dvě poháněná dvojkola, každé o celkové nosnosti 1800kg. Hřídele těchto dvojkol jsou navrženy pro spojení s převodovkou a elektromotorem, nebo hydraulickým motorem. Jako hydraulický pohon lze použít radiální pístový motor MCR3, nebo motor typu ORBITOL. Zatáčení zařízení je docíleno protisměrným chodem pohonů a tím i kol. Vzhledem k tomu že v dispozici s vrtulníkem jsou poháněná kola situována u zadní části ližin, dosahuje takto navržený způsob řízení natáčení vrtulníku vysoké manévrovací úrovně.

Návrh neobsahuje rozmístění hydraulických komponentů ani elektronického vybavení. Tyto součásti mohou být umístěny v zadní části zařízení spolu s pohony a ve střední části zařízení tak, aby těžiště bylo situováno k zadní části. Vzhledem k neznámé poloze a přesného typu komponentů, které nejsou součástí návrhu, konstrukce neobsahuje držáky k jejich připevnění.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce se zaměřením na pojezdové a zvedací zařízení pro vrtulníky bylo provést přehled a zhodnocení výrobců, udělat rozbor možných mechanismů a následující volbu vhodného principu řešení. V další části bylo úkolem provést návrh a výpočet zařízení určeného pro přepravu vrtulníků BELL s hmotností do 2000 kg.

Dnes se na trhu objevuje celá řada zahraničních výrobců pojezdových a zvedacích zařízení pro přepravu vrtulníků mezi letištní plochou a hangárem. Nabízené výrobky se od sebe liší zejména nosností a principem zdvihu. Výjimku tvoří společnost Mototok International GmbH se svým zařízením Helimo, které je univerzální pro všechny vrtulníky s ližinami do hmotnosti pěti tun.

Abychom dosáhly možnosti zdvihu dvou velikostně a váhově rozdílných vrtulníků BELL, byl zvolen systém umožňující uchopení za ližiny, které od sebe mohou být ve vzdálenosti 2330 mm. Z rozboru možných mechanismů vyplynul nejvhodnější systém zdvihu umožňující kyvný pohyb zvedacích ramen, která jsou navržena jako výsuvná. Konce těchto ramen jsou uzpůsobena pro zavěšení speciálních úchytů umožňujících bezpečné zavěšení vrtulníku a jeho následné přemístění. Pohyb zdvihu je zde zajištěn hydraulickými válci.

Zařízení je osazeno tříkolovým podvozkem s jednou otočnou kladkou a párem odděleně poháněných dvojkol. Kola jsou upevněna na nosný rám zařízení, který je konstruován s ohledem na vysokou tuhost a možnost umístění dalších komponentů zařízení. Řízení stroje je prováděno pomocí dálkového ovládání. Součástí této práce není návrh ovládání, řídicího systému, ani hydraulického obvodu.

Výpočty součástí a návrhové výpočty byly prováděny dle použité literatury. Součásti zařízení, které nebyly pevnostně kontrolovány, jsou navrženy s ohledem na výsledné hodnoty provedených výpočtů u kontrolovaných dílců. Volba materiálů jednotlivých součástí byla provedena s ohledem na pevnostní výpočty, funkci a technologické zpracování při výrobě. Volba nakupovaných komponentů a hutního materiálu byla prováděna z aktuální nabídky dílců dostupných na trhu a dle platných norem.

Navržené zařízení má nosnost 2000 kg, provádí zdvih 80mm a je konstruováno pro rychlost pohybu s vrtulníkem až 2,15 km/h. To je dostačující pro relativně rychlou a zároveň bezpečnou přepravu.

9 Seznam zdrojů

- [1] *Http://www.bellhelicopter.com/en/company/history.cfm* [online]. 2007 [cit. 2011-02-13]. History of Bell Helicopter. Dostupné z WWW: <<http://www.bellhelicopter.com>>.
- [2] Bell Helicopter Textron#Helikopt.C3.A9ry. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-02-13]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Bell_Helicopter_Textron#Helikopt.C3.A9ry>.
- [3] *Http://www.aristocratique.com/helicopters/206b3-jetranger-iii-a-jewel-from-bell* [online]. 2011 [cit. 2011-02-13]. 206B3 JetRanger III a jewel from Bell. Dostupné z WWW: <<http://www.aristocratique.com>>.
- [4] *Aircraft tug mototok - easy moving aircraft and helicopter* [online]. 2009 [cit. 2011-02-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.mototok.com/>>.
- [5] *Helitowcart.com* [online]. 2011 [cit. 2011-02-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.helitowcart.com/index.html>>.
- [6] *Paravion Technology* [online]. 2009 [cit. 2011-02-24]. Paravion Technology, Inc. - Heliporters - Helicopter Ground Handling Units. Dostupné z WWW: <<http://www.paravion.com/products/heliporter/heliporter.htm>>.
- [7] *Chopper Spotter - Home* [online]. 2008 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.chopperspotter.com/index.html>>.
- [8] **KNOFLÍČEK, Radek. ROBOTY A PRUŽNÉ VÝROBNÍ SYSTÉMY.** Brno : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY, 2004. 109 s.
- [9] **ŠKOPÁN, Miroslav. HYDRAULICKÉ POHONY STROJŮ.** VUT (Brno) : Ústav dopravní techniky (VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství), 2009. 166 s.
- [10] **BELL 206L-1 LONG RANGER II PERFORMANCE AND OPERATIONS HANDBOOK** [online]. Australia : [s.n.], 1999 [cit. 2011-04-26]. Dostupné z WWW: <http://www.casa.gov.au/wcmswr/_assets/main/fcl/exams/cyberexam/bell206l1_extract.pdf>.
- [11] *Bosch Rexroth AG* [online]. 2011 [cit. 2011-05-01]. Interactive Catalog System. Dostupné z WWW: <<http://www.boschrexroth.com/ics/home.cfm?&language=en&KeyList=ZR>>.
- [12] *Blickle kola + kladky* [online]. 2008 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list. Dostupné z WWW: <<http://www.blickle.cz/produkty/LSD-GTH-200K-35.html>>.

- [13] *Blickle kola + kladky* [online]. 2008 [cit. 2011-05-10]. Katalogový list. Dostupné z WWW: <<http://www.blickle.cz/produkty/GEVN-302-35H7.html>>.
- [14] MALÁŠEK, Jiří. *OBEČNÝ PŘÍSTUP K NÁVRHU POHONŮ DOPRAVNÍCH A MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ*. VUT (Brno) : [s.n.], 2011. 12 s.
- [15] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *STROJNICKÉ TABULKY*. Druhé doplněné vydání. Praha : ALBRA, 2005. 907 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [16] ZELENÝ, Jiří . *Stavba strojů strojní součástí*. Praha : COMPUTER PRESS, 2000. 158 s. ISBN 80-7226-311-0.
- [17] FLORIAN, Zdeněk; ONDRÁČEK, Emanuel; PŘIKRYL, Karel. *MECHANIKA TĚLES - STATIKA*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2003. 182 s.
- [18] JANÍČEK, Přemysl; ONDRÁČEK, Emanuel; VRBKA, Jan. *MECHANIKA TĚLES - Pružnost a pevnost I*. VUT (Brno) : VUT Brno, 1992. 287 s.
- [19] ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka : 1. svazek*. Třinácté upravené vydání. Praha : STNL, 1977. 1183 s.
- [20] SVOBODA, Pavel; BRANDEJS, Jan; DVOŘÁČEK, Jiří. *Základy konstruování*. Vydání druhé, doplněné a přepracované. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2008. 234 s. ISBN 978-80-7204-584-6.
- [21] FÜRBAACHER, Ivan, et al. *LEXIKON TECHNICKÝCH MATERIÁLŮ*. Praha : Dashöfer, 1998. 7 sv, 500 s. ISBN 80-86229-02-5.
- [22] *Ložiska SKF, ZVL, ZKL, FBJ, CODEX* [online]. 2005 [cit. 2011-04-26]. Katalog ložisek SKF. Dostupné z WWW: <<http://www.exvalos.cz/katalog-lozisek-skf/>>.
- [23] *Ferona, a.s. - Velkoobchod hutním materiálem* [online]. 2011 [cit. 2011-05-11]. Ferona a.s. - hutní materiál, velkoobchod s hutním materiálem. Dostupné z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php?kat=1>>.
- [24] *Citace 2.0 - vše o citování literatury a dokumentů* [online]. 2009 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.citace.com/index.php>>.

10 Seznam použitých symbolů

b_p	[mm]	šířka pera
C	[N]	základní dynamická únosnost
c_{III}	[1]	součinitel snížení napětí – střídavé namáhání
D_R	[mm]	vnější průměr trubky ramene
D_{Rv}	[mm]	vnější průměr trubky výsuvného ramene
$d_{\check{c}}$	[mm]	průměr čepu v kritickém místě
d_h	[mm]	minimální průmět hřídele
d_H	[mm]	navržený průměr hřídele
$d_{H'}$	[mm]	průměr hřídele po odečtení hloubky drážky pro pero
d_p	[mm]	minimální průměr pístu
d_R	[mm]	vnitřní průměr trubky ramene
d_{Rv}	[mm]	vnitřní průměr trubky výsuvného ramene
F_a	[N]	axiální zatížení ložiska
F_e	[N]	ekvivalentní zatížení ložiska
F_r	[N]	radiální zatížení ložiska
F_{HV}	[N]	síla působící na hydraulický válec
F_{HVmax}	[N]	maximální síla působící na hydraulický válec
F_{kz}	[N]	síla působící na zadní dvojkolo
F_{kp}	[N]	síla působící na přední dvojkolo
$F_{kp'}$	[N]	síla působící na přední kolo
F_{np}	[N]	síla působící na jedno přední kolo
F_{nz}	[N]	síla působící na jedno zadní kolo
G_c	[N]	celková zatěžující síla
$G_{c/2}$	[N]	síla zatěžující ramena
G_z	[N]	tíha zařízení
g	[m·s ⁻²]	gravitační zrychlení
I	[kg·m ²]	moment setrvačnosti

I_{red}	[kg·m ²]	redukovaný moment setrvačnosti
i_v	[1]	počet stupňů volnosti volného tělesa
k	[1]	koeficient bezpečnosti
L_h	[hod]	trvanlivost ložiska
l_B	[mm]	rozteč čepů na páce 1
l_C	[mm]	rozteč čepů na páce 2
l_{c1-5}	[mm]	vzdálenosti působících sil na čepu v místě B
l_{H0-3}	[mm]	vzdálenosti zatěžujících sil na hřídeli
l_{m1}	[mm]	délka páky 1
l_{m2}	[mm]	délka táhla
l_{m3}	[mm]	délka páky 2
l_p	[mm]	minimální délka pera
l_{pH}	[mm]	zvolená minimální délka pera
l_R	[mm]	rozteč zdvihacích ramen R1 a R2
l_{R1}	[mm]	vzdálenost vysunutí ramene k páce mechanismu
l_{Rr}	[mm]	rozteč pák na rameni
l_{Rv1}	[mm]	vysunutí ramene
l_T	[mm]	vzdálenost těžiště od ramene R1
l_{z1}	[mm]	vzdálenost zadního kola od ramene 2
l_{z2}	[mm]	vzdálenost ramene 2 od těžiště zařízení
l_{z3}	[mm]	vzdálenost ramene 1 od těžiště zařízení
l_{zC}	[mm]	osová vzdálenost kol
n_i	[1]	počet těles
m_1	[kg]	hmotnost zadního kola (hnacího)
m_2	[kg]	hmotnost předního kola
m_3	[kg]	hmotnost zařízení s vrtulníkem
m_b	[kg]	hmotnost přidaná z důvodu bezpečnosti a přetížení
M_k	[Nm]	kroutící moment
M_{kdyn}	[Nm]	dynamický kroutící moment

M_{kstat}	[Nm]	statický krouticí moment
M_o	[Nm]	ohybový moment
M_{omax}	[Nm]	maximální ohybový moment
m_v	[kg]	nosnost zařízení
m_{vh}	[kg]	zvedaná hmotnost
m_z	[kg]	hmotnost zvedaných částí mechanismu
N	[N]	normálová síla
n	[s ⁻¹]	otáčky
P	[W]	výkon motoru
p	[1]	mocnitel dle druhu ložiska
p_D	[MPa]	dovolený tlak na pero
p_p	[MPa]	pracovní tlak pístu
R_1	[mm]	poloměr zadního kola
R_2	[mm]	poloměr předního kola
R_{Ax}	[N]	reakce v bodě A na vnější zatížení – osa x
R_{Ay}	[N]	reakce v bodě A na vnější zatížení – osa y
R_{Bx}	[N]	reakce v bodě B na vnější zatížení – osa x
R_{By}	[N]	reakce v bodě B na vnější zatížení – osa y
R_{Cx}	[N]	reakce v bodě C na vnější zatížení – osa x
R_{Cy}	[N]	reakce v bodě C na vnější zatížení – osa y
R_{Dx}	[N]	reakce v bodě D na vnější zatížení – osa x
R_{Dy}	[N]	reakce v bodě D na vnější zatížení – osa y
$R_{eč}$	[MPa]	mez kluzu materiálu čepu
R_{eR}	[MPa]	mez kluzu materiálu ramen
R_{eRv}	[MPa]	mez kluzu materiálu výsuvných ramen
R_{m1}	[N]	zatěžující síla na rameno 1
R_{m2}	[N]	zatěžující síla na rameno 2
R_{mH}	[MPa]	mez kluzu materiálu hřídele
R_{ms}	[MPa]	mez pevnosti materiálu náboje

R_{R1}	[N]	reakce na rameni R1
R_{R2}	[N]	reakce na rameni R2
S_p	[mm ²]	plocha pístu
T	[N]	posouvající síla
T_1	[mm]	poloha těžiště v bodě 1
T_2	[mm]	poloha těžiště v bodě 2
t	[mm]	hloubka drážky pro pero
t_1	[mm]	výška pera v náboji
v	[m·s ⁻¹]	rychlost pojezdu s vrtulníkem
W_k	[mm ³]	průřezový modul v krutu
$W_{o\check{c}}$	[mm ³]	průřezový modul v ohybu čepu
W_{oH}	[mm ³]	průřezový modul v ohybu hřídele
W_{oR}	[mm ³]	průřezový modul v ohybu trubky ramene
W_{oRv}	[mm ³]	průřezový modul v ohybu trubky výsuvného ramene
X	[1]	součinitel dle F_a/F_r
Y	[1]	součinitel dle F_a/F_r
α	[°]	úhel naklonění páky
α_1	[°]	úhel stoupání
β	[°]	úhel naklonění hydraulického válce
ξ	[mm]	rameno valivého odporu
ξ_j	[1]	počet stupňů volnosti odebraných vazbami
η	[1]	počet omezených deformačních parametrů
π	[1]	Rudolfovo číslo
σ_{Rv}	[MPa]	maximální napětí v ohybu na výsuvné trubce
σ_{DRv}	[MPa]	dovolené napětí
$\sigma_{\check{c}}$	[MPa]	maximální napětí v ohybu na čepu
$\sigma_{D\check{c}}$	[MPa]	dovolené napětí na čepu
σ_{oH}	[MPa]	maximální napětí v ohybu na hřídeli
σ_{red}	[MPa]	redukované napětí na hřídeli

σ_{DH}	[MPa]	dovolené napětí na hřídeli
σ_R	[MPa]	maximální napětí v ohybu
σ_{DR}	[MPa]	dovolené napětí
τ_h	[MPa]	namáhání v krutu
τ_{hD}	[MPa]	dovolené namáhání oceli hřídele
τ_{kH}	[MPa]	namáhání v krutu hřídele
τ_p	[MPa]	smykové namáhání pera
τ_{pD}	[MPa]	dovolené smykové namáhání pera
ω	[rad·s ⁻¹]	úhlová rychlost
ω_1	[rad·s ⁻¹]	úhlová rychlost na hnacím kole

11 Seznam obrázků

Obr. 2.2: Vnější rozměry Vrtulníku Bell 206B3 JetRanger III [5].....	11
Obr. 2.3: Vnější rozměry Vrtulníku Bell 206L4 LongRanger IV [5]	12
Obr. 3.2: HELIMO – příjezd a uchopení	14
Obr. 3.3: Náběžná plocha a pojistný zámek [8]	15
Obr. 3.4: V404 bez krytů.....	17
Obr. 3.5: Závěsné příchytky.....	18
Obr. 3.6: HeliCarrier V1030, V1022, V1020.....	19
Obr. 3.7: Helipoter HP150E-X	20
Obr. 3.8: Ovládání Helipoter HP150E	21
Obr. 3.9: HP250 půdorys bez přední nápravy	22
Obr. 3.10: Helipoter HP150E-X	23
Obr. 3.11: Chopper Spotter – umístění a manipulace	24
Obr. 3.12: Chopper Spotter – model MS	25
Obr. 3.13: Chopper Spotter – model 4.....	26
Obr. 4.1: Zdvih zadních kol hydraulickým válcem	29
Obr. 4.2: Zdvih zadních kol řetězovým převodem	29
Obr. 4.3: Zdvih předního kola hydraulickým válcem.....	30
Obr. 4.4: Zdvih výklopných ramen hydraulickým válcem.....	30
Obr. 4.5: Zdvih – dělený rám	31
Obr. 4.6: Tříkolový podvozek [8].....	33
Obr. 4.7: Ovládání předních kol.....	34
Obr. 4.8: Zatáčení protisměrným chodem pohonů	35
Obr 6.1: Těžiště vrtulníku (převzato a upraveno z [10]).....	40
Obr 6.2: Souřadný systém	42
Obr 6.3: Síly působící na ramena	42
Obr 6.5: Mechanismus zdvihu	44
Obr 6.6: Síly působící na rám zařízení	47
Obr 6.7: Zatížení zařízení	50
Obr 6.8: Minimální průměr hřídele	52
Obr 6.9: Kritické řezy hřídele	53

12 Seznam tabulek

Tab. 2.1: Specifikace verzí Bell 206L LongRanger.....	12
Tab. 6.1: Výsledné síly	45

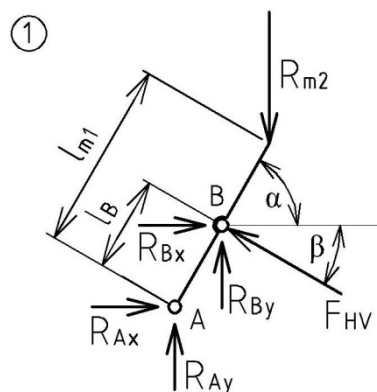
13 Seznam příloh

Příloha P1	Rozbor těles mechanismu zdvihu
Příloha P2	VVÚ – zvedací ramena
Příloha P3	Výpočet výsuvných ramen
Příloha P4	Výpočet čepů
Příloha P5	Provedení ramen
Příloha P6	Dělené rámy
Příloha P7	Tříkolové podvozky
Příloha P8	Nůžkové mechanismy – jednoduchý rám
Příloha P9	Průběh namáhání hřídele
Příloha P10	výkres sestavy S1-3K2-31/ZP
Příloha P11	kusovník K1-3K2-31/ZP

Příloha P1

Rozbor těles mechanismu zdvihu

Rozbor tělesa č. 1:



$$\sum F i_x = 0$$

$$R_{Ax} + R_{Bx} - F_{HV} \cdot \cos \beta = 0 \quad (1)$$

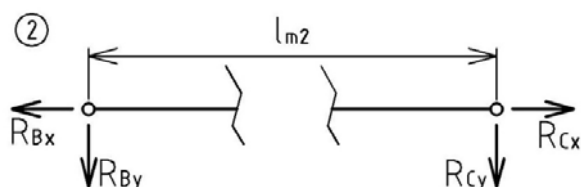
$$\sum F i_y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} + F_{HV} \cdot \sin \beta - R_{m2} = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_A = 0$$

$$R_{m2} \cdot \cos \alpha \cdot l_{m1} + R_{Bx} \cdot \sin \alpha \cdot l_B - F_{HV} \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot l_B = 0 \quad (3)$$

Rozbor tělesa č. 2:



$$\sum F i_x = 0$$

$$R_{Cx} - R_{Bx} = 0 \quad (4)$$

Příloha P1

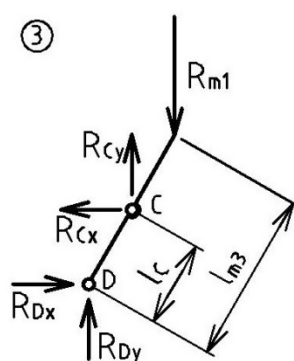
$$\sum F_{iy} = 0$$

$$-R_{Cy} - R_{By} = 0 \quad (5)$$

$$\sum M_B = 0$$

$$R_{Cy} \cdot l_2 = 0 \quad (6)$$

Rozbor tělesa č. 3:



$$\sum F_{ix} = 0$$

$$R_{Dx} - R_{Cx} = 0 \quad (7)$$

$$\sum F_{iy} = 0$$

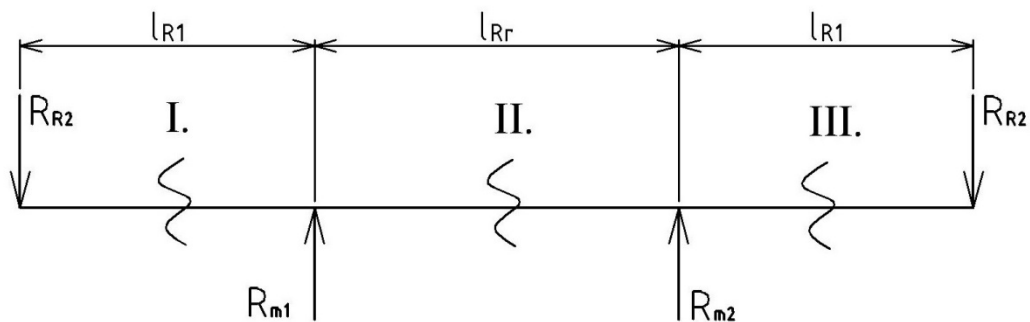
$$R_{Dy} + R_{Cy} - R_{m1} = 0 \quad (8)$$

$$\sum M_A = 0$$

$$R_{m1} \cdot \cos \alpha \cdot l_{m3} - R_{Cx} \cdot \sin \alpha \cdot l_c = 0 \quad (9)$$

Příloha P2

VVÚ – zvedací ramena

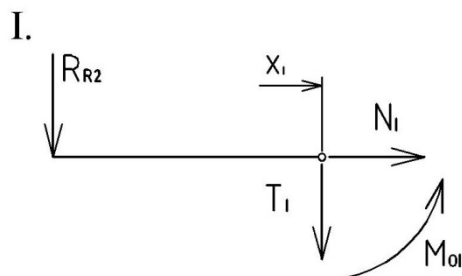


Rozměry:

$$l_{R1} = 705\text{mm}; l_{Rr} = 920\text{mm}$$

Řez I.:

$$x_I \in (0; l_{R1})$$



$$N_I = 0$$

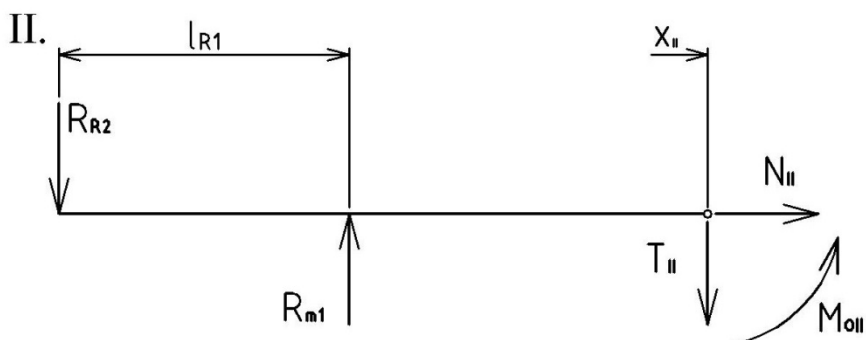
$$T_I = R_{R2} = 9475,4\text{ N} \quad (1)$$

$$M_{oI} = R_{R2} \cdot x_I = 9475,4x_I\text{ Nmm} \quad (2)$$

Příloha P2

Řez II.:

$$x_{II} \in (0; l_{Rr})$$



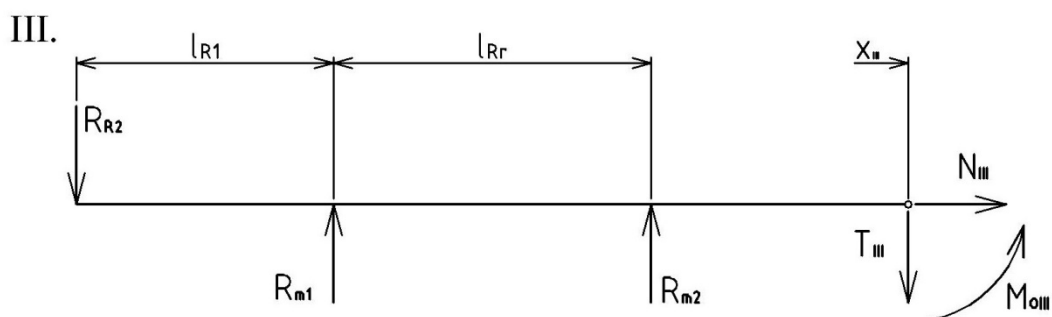
$$N_{II} = 0$$

$$T_{II} = -R_{m1} + R_{R2} = 0 \text{ N} \quad (3)$$

$$M_{oII} = R_{R2} \cdot (l_{R1} + x_{II}) - R_{m1} \cdot x_{II} = 6680157 \text{ Nmm} \quad (4)$$

Řez III.:

$$x_{III} \in (0; l_{R1})$$



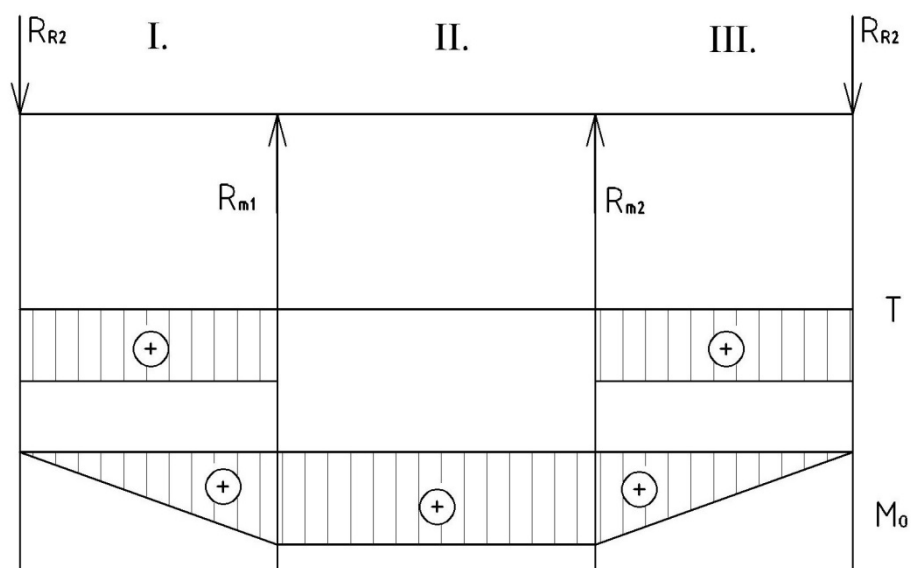
$$N_{III} = 0$$

$$T_{III} = R_{m1} + R_{m2} - R_{R2} = 9473,4 \text{ N} \quad (5)$$

$$M_{oIII} = R_{R2} \cdot (l_{R1} + l_{Rr} + x_{III}) - R_{m1} \cdot (l_{Rr} + x_{III}) - R_{m2} \cdot x_{III} = 0 \text{ Nmm} \quad (6)$$

Příloha P2

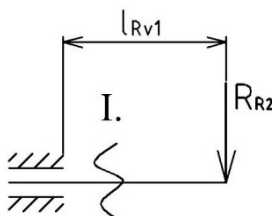
Průběh napětí:



Příloha P3

Výpočet výsuvných ramen

Zatížení:

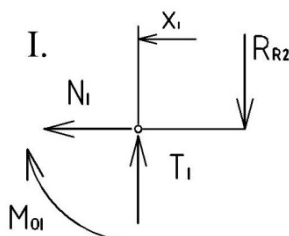


VVÚ – výsuvná ramena:

$$l_{Rv1} = 440\text{mm}$$

Řez I.:

$$x_I \in (0; l_{R1})$$



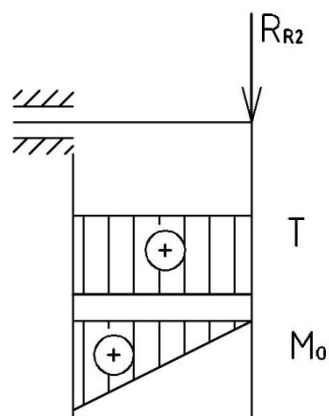
$$N_I = 0$$

$$T_I = R_{R2} = 14700\text{ N} \tag{1}$$

$$M_{\alpha I} = R_{R2} \cdot x_I = 14700x_I\text{ Nmm} \tag{2}$$

Příloha P3

Průběh napětí:



$$M_{o_{max}} = R_{R2} \cdot l_{Rv1} = 6468000 \text{ Nmm} \quad (3)$$

Maximální napětí v ohybu:

$$\sigma_{Rv} = \frac{|M_{o_{max}}|}{W_{oRv}} = \frac{|M_{o_{max}}|}{\frac{\pi \cdot (D_{Rv}^4 - d_{Rv}^4)}{32 \cdot D_{Rv}}} \quad (4)$$

$$\sigma_{Rv} = \frac{4169176}{\frac{\pi \cdot (70^4 - 50^4)}{32 \cdot 70}} = 167,381 \text{ MPa}$$

$$\sigma_R = 167,381 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí:

$$\sigma_{DRv} = \frac{R_{eRv}}{k} = \frac{260}{1,5} = 173,4 \text{ MPa} \quad (5)$$

$$\sigma_{Rv} \leq \sigma_{DRv} \quad (6)$$

Z vypočtených hodnot vyplývá, že zvolený materiál a rozměry použitých trubek vyhovuje.

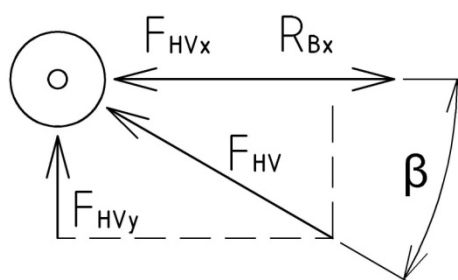
Příloha P3

$D_{Rv} = 70\text{mm}$	vnější průměr trubky ramene
$d_{Rv} = 50\text{mm}$	vnitřní průměr trubky ramene
$W_{oRv} = 24908,3\text{mm}^3$	průřezový modul v ohybu
$R_{eRv} = 260\text{MPa}$	mez kluzu materiálu ramen 11 503
$k = 1,5$	koeficient bezpečnosti

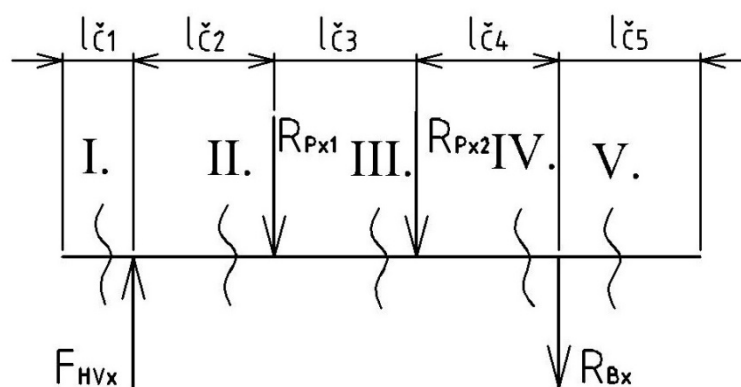
Příloha P4

Výpočet čepů

Rozklad sil:



Zatížení čepu - osa x:



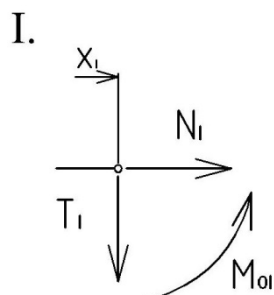
Vzdálenosti působících sil:

$$l_{\check{c}1} = 12,5 \text{ mm}; l_{\check{c}2} = 42,5 \text{ mm}; l_{\check{c}3} = 50 \text{ mm}; l_{\check{c}4} = 37,5 \text{ mm}; l_{\check{c}5} = 15 \text{ mm}$$

Příloha P4

Řez I.:

$$x_I \in (0; l_{\check{c}1})$$



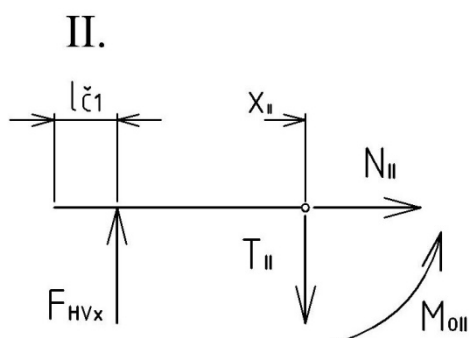
$$N_I = 0$$

$$T_I = 0 \text{ N} \tag{1}$$

$$M_{OI} = 0 \text{ Nmm} \tag{2}$$

Řez II.:

$$x_{II} \in (0; l_{\check{c}2})$$



$$N_{II} = 0$$

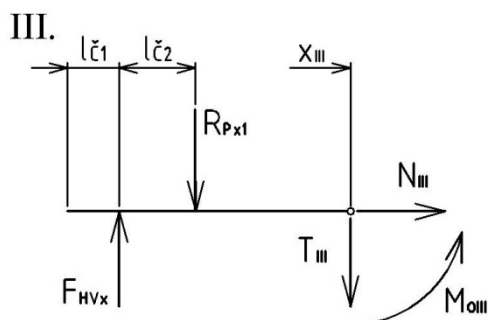
$$T_{II} = F_{HV} \cdot \cos \beta = 33241,2 \text{ N} \tag{3}$$

$$M_{OII} = -F_{HV} \cdot \cos \beta \cdot x_{II} \tag{4}$$

Příloha P4

Řez III.:

$$x_{III} \in (0; l_{\check{c}3})$$



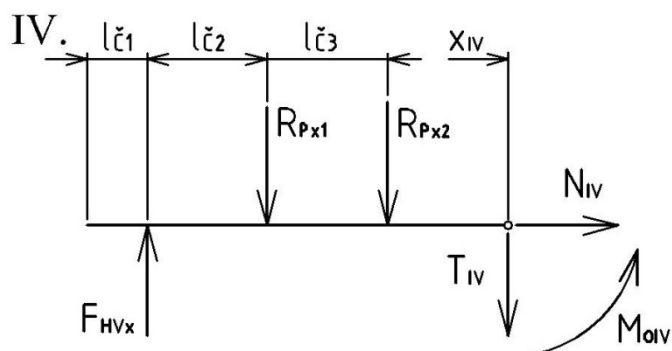
$$N_{III} = 0$$

$$T_{III} = F_{HV} \cdot \cos \beta - R_{Px1} = -37766,4 \text{ N} \quad (5)$$

$$M_{oIII} = -F_{HV} \cdot \cos \beta \cdot (l_{\check{c}2} + x_{III}) + R_{Px1} \cdot x_{III} \quad (6)$$

Řez IV.:

$$x_{IV} \in (0; l_{\check{c}4})$$



$$N_{IV} = 0$$

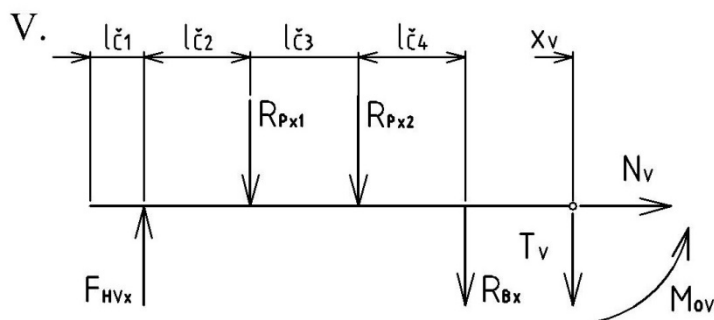
$$T_{IV} = F_{HV} \cdot \cos \beta - R_{Px1} - R_{Px2} = 12681,8 \text{ N} \quad (7)$$

$$M_{oIV} = -F_{HV} \cdot \cos \beta \cdot (l_{\check{c}3} + l_{\check{c}2} + x_{IV}) + R_{Px1} \cdot (l_{\check{c}3} + x_{IV}) + R_{Px2} \cdot x_{IV} \quad (8)$$

Příloha P4

Řez V.:

$$x_V \in (0; l_{\check{c}5})$$

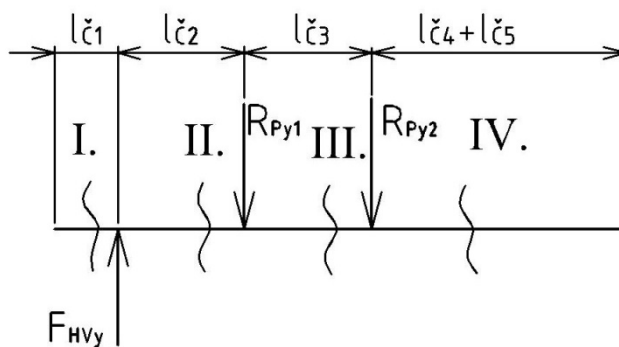


$$N_{IV} = 0$$

$$T_{IV} = F_{HV} \cdot \cos \beta - R_{Px1} - R_{Px2} = 0 \text{ N} \quad (9)$$

$$M_{oIV} = -F_{HV} \cdot \cos \beta \cdot (l_{\check{c}4} + l_{\check{c}3} + l_{\check{c}2} + x_V) + R_{Px1} \cdot (l_{\check{c}4} + l_{\check{c}3} + x_V) + R_{Px2} \cdot (l_{\check{c}4} + x_V) + R_{Bx} \cdot x_V \quad (10)$$

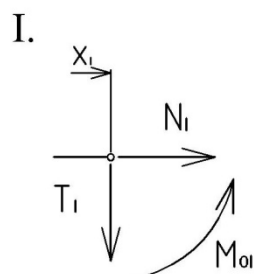
Osa y:



Příloha P4

Řez I.:

$$x_I \in (0; l_{\check{c}1})$$



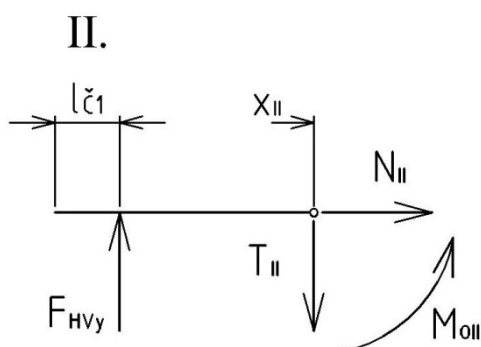
$$N_I = 0$$

$$T_I = 0 \text{ N} \tag{11}$$

$$M_{OI} = 0 \text{ Nmm} \tag{12}$$

Řez II.:

$$x_{II} \in (0; l_{\check{c}2})$$



$$N_{II} = 0$$

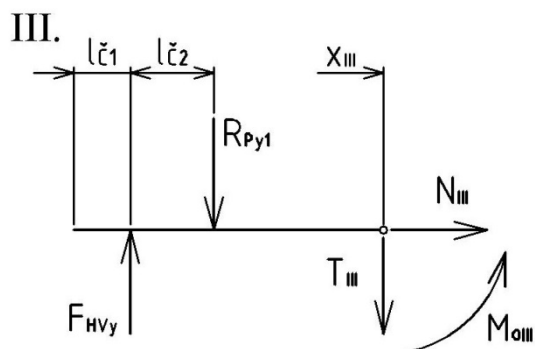
$$T_{II} = F_{HV} \cdot \sin \beta = 6106,9 \text{ N} \tag{13}$$

$$M_{OII} = -F_{HV} \cdot \sin \beta \cdot x_{II} \tag{14}$$

Příloha P4

Řez III.:

$$x_{III} \in (0; l_{\check{c}3})$$



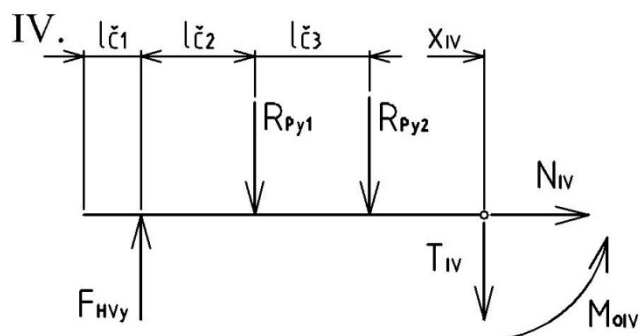
$$N_{III} = 0$$

$$T_{III} = F_{HV} \cdot \sin \beta - R_{Py1} = -6870,26 \text{ N} \quad (15)$$

$$M_{oIII} = -F_{HV} \cdot \sin \beta \cdot (l_{\check{c}2} + x_{III}) + R_{Py1} \cdot x_{III} \quad (16)$$

Řez IV.:

$$x_{IV} \in (0; l_{\check{c}4})$$



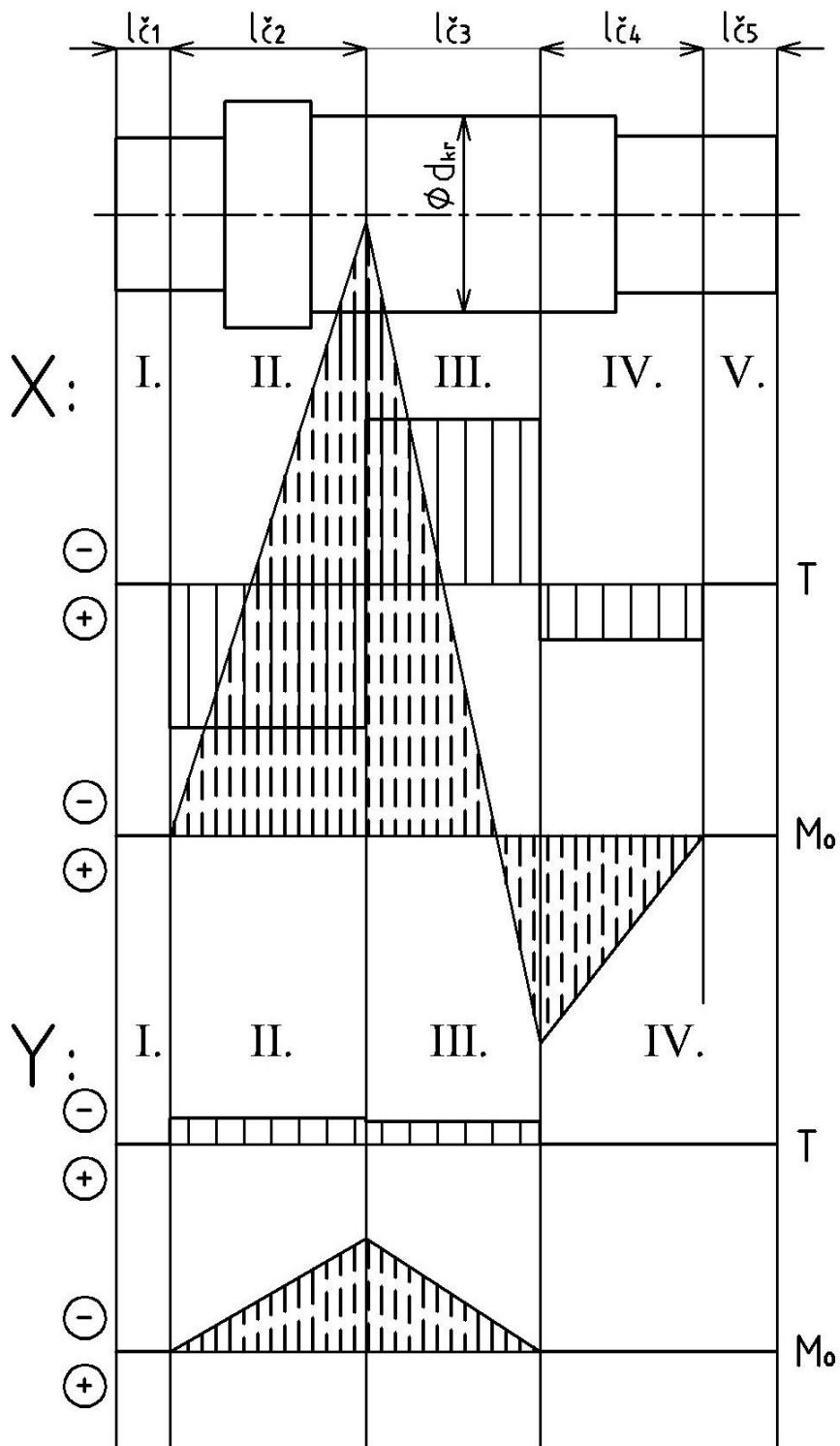
$$N_{IV} = 0$$

$$T_{IV} = F_{HV} \cdot \sin \beta - R_{Py1} - R_{Py2} = - - - N \quad (17)$$

$$M_{oIV} = -F_{HV} \cdot \sin \beta \cdot (l_{\check{c}3} + l_{\check{c}2} + x_{IV}) + R_{Py1} \cdot (l_{\check{c}3} + x_{IV}) + R_{Py2} \cdot x_{IV} \quad (18)$$

Příloha P4

Průběh napětí v ose y:



$$M_{o_{max}} = \sqrt{(-F_{HV} \cdot \cos \beta \cdot l_{c2})^2 + (-F_{HV} \cdot \sin \beta \cdot l_{c2})^2} = 1436394 \text{ Nmm} \quad (19)$$

Příloha P4

Maximální napětí v ohybu:

$$\sigma_{\zeta} = \frac{|M_{omax}|}{W_{o\zeta}} = \frac{|M_{omax}|}{\frac{\pi \cdot d_{\zeta}^3}{32}} \quad (20)$$

$$\sigma_{\zeta} = \frac{1436394}{\frac{\pi \cdot 45^3}{32}} = 160,56 \text{ MPa} \quad (21)$$

$$\sigma_R = 160,56 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí:

$$\sigma_{D\zeta} = \frac{R_{e\zeta}}{k} = \frac{260}{1,5} = 173,4 \text{ MPa} \quad (22)$$

$$\sigma_{\zeta} \leq \sigma_{D\zeta} \quad (23)$$

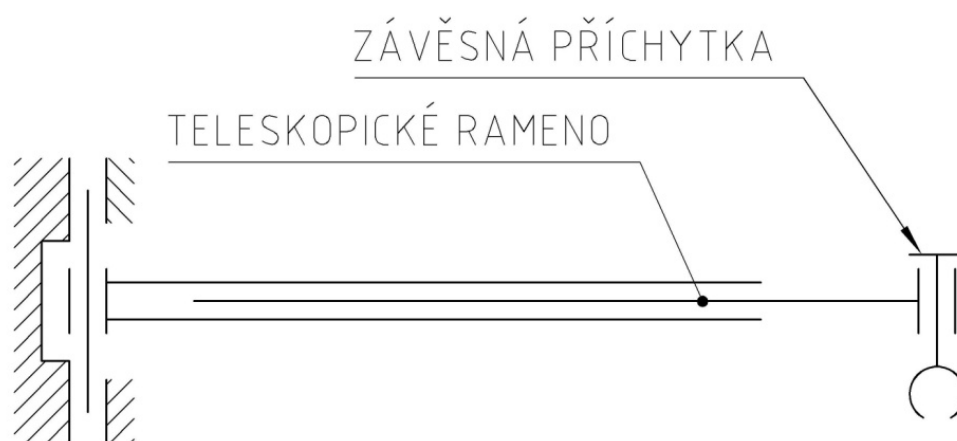
Z vypočtených hodnot vyplývá, že zvolený materiál a průměr čepu v kritickém místě vyhovuje.

$d_{\zeta} = 45 \text{ mm}$	průměr čepu v kritickém místě
$W_{o\zeta} = 8946,18 \text{ mm}^3$	průřezový modul v ohybu
$R_{e\zeta} = 260 \text{ MPa}$	mez kluzu materiálu čepu 11 523
$k = 1,5$	koeficient bezpečnosti

Příloha P5

Provedení ramen

Závěsné rameno:



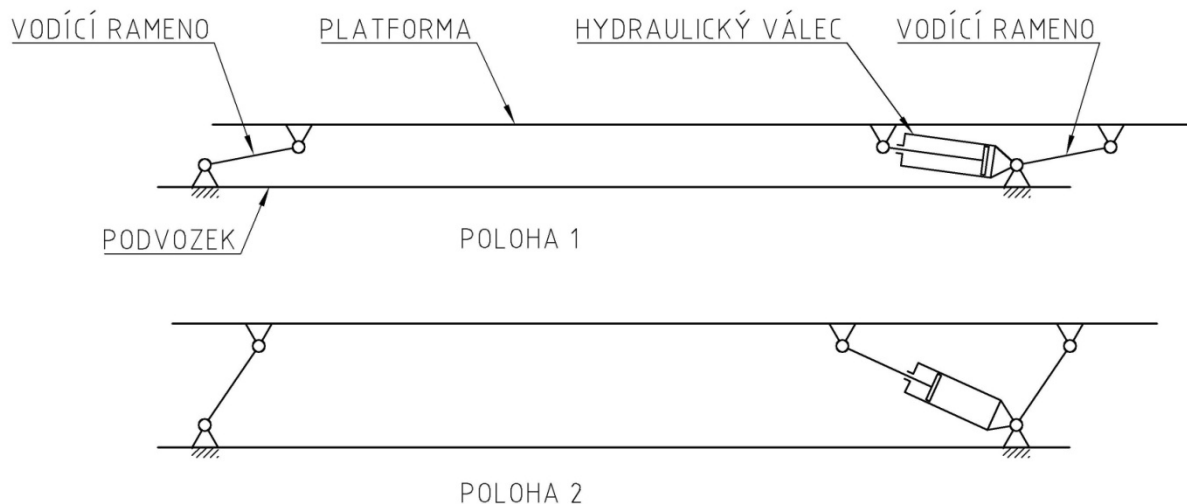
Vyrovnávací rameno



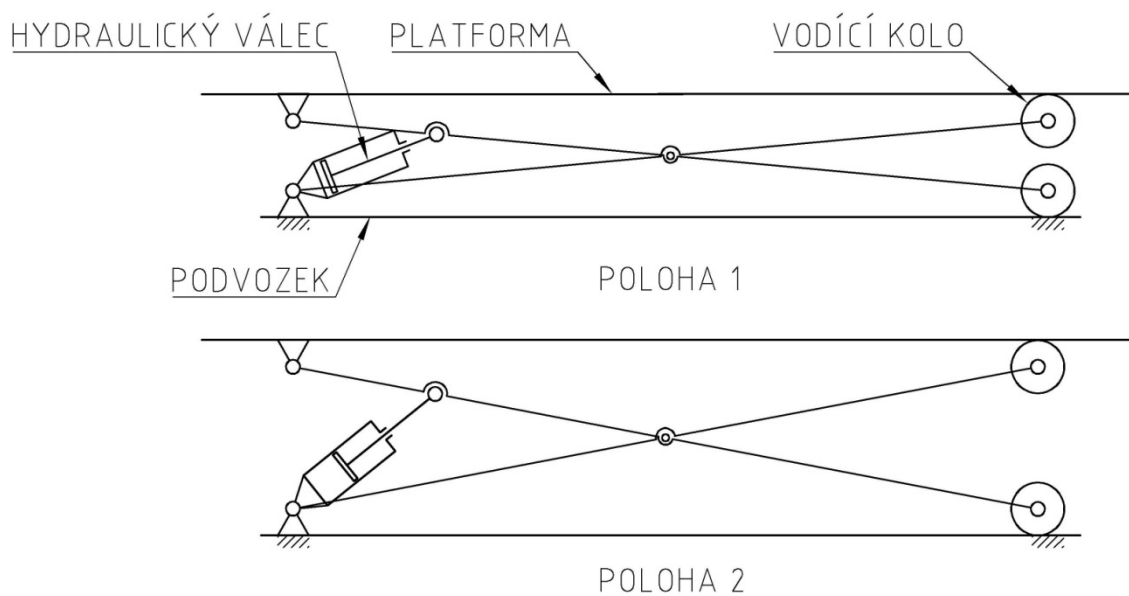
Příloha P6

Dělené rámy

Zdvih platformy kyvným mechanismem:



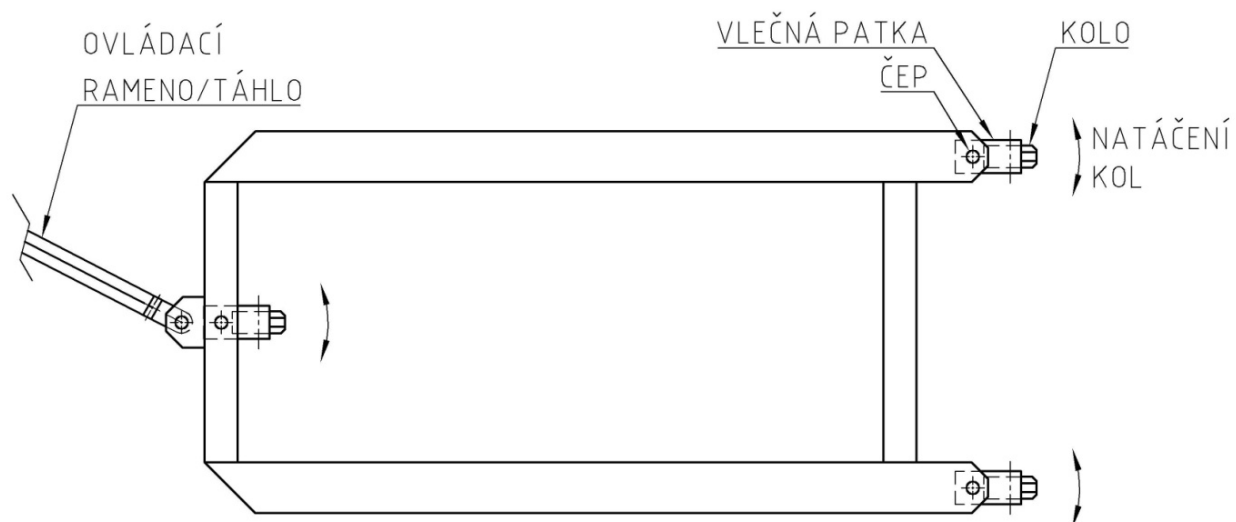
Zdvih platformy nůžkovým mechanismem:



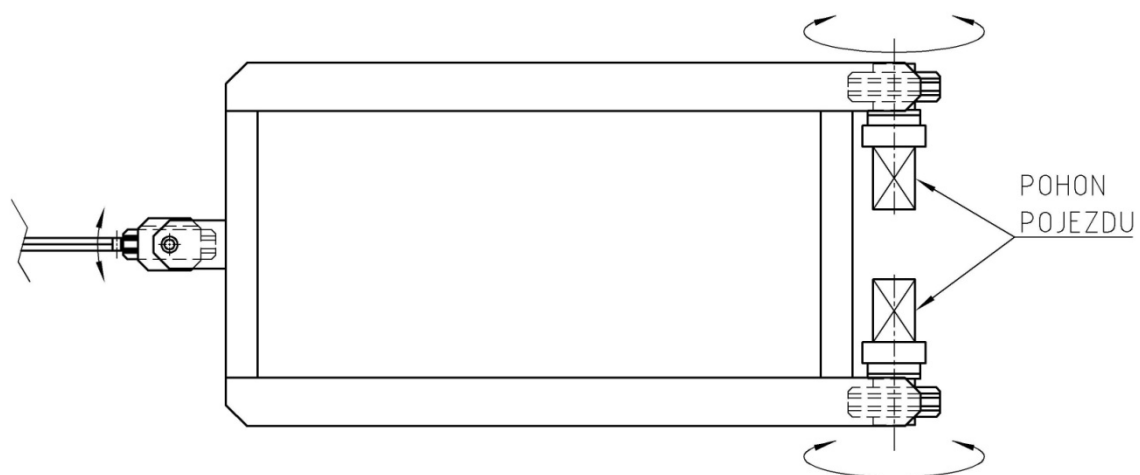
Příloha P7

Tříkolové podvozky

Tříkolový podvozek – otočné kladky:

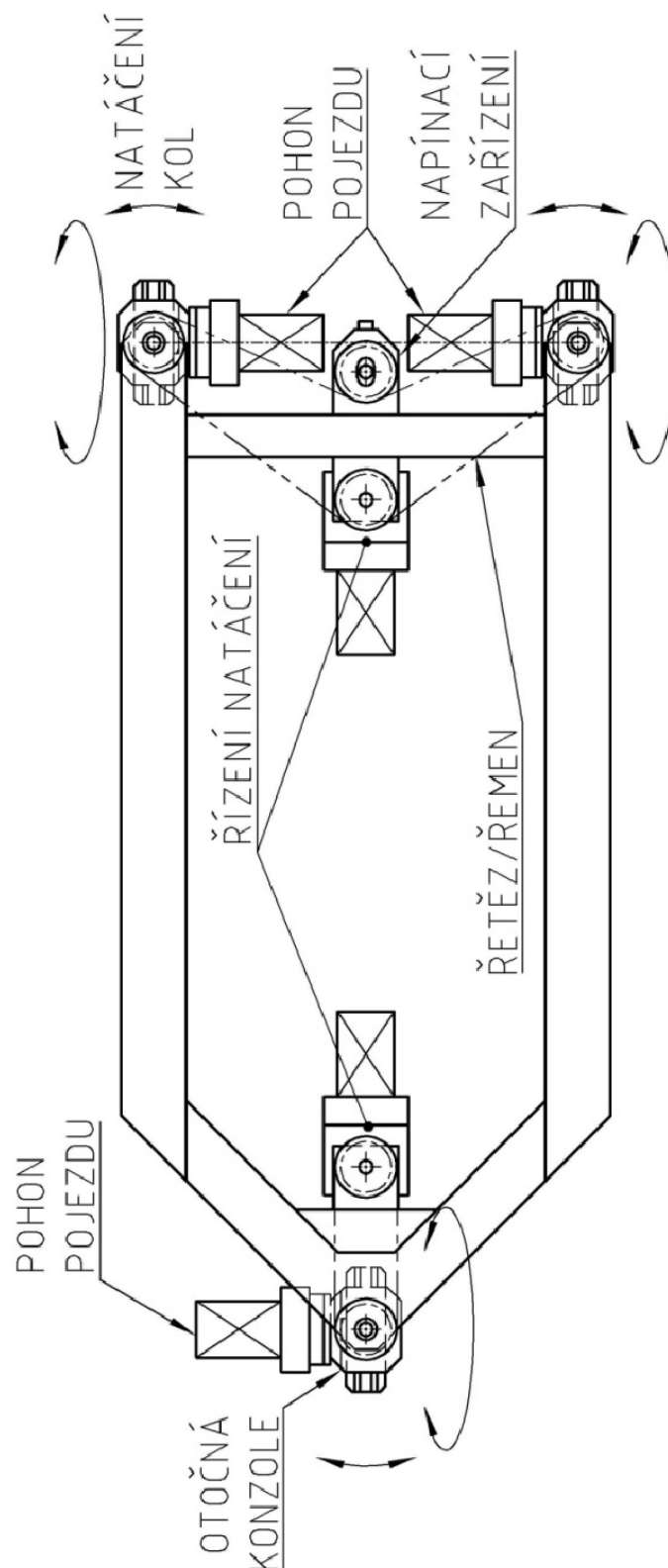


Tříkolový podvozek – natáčené přední kolo:



Příloha P7

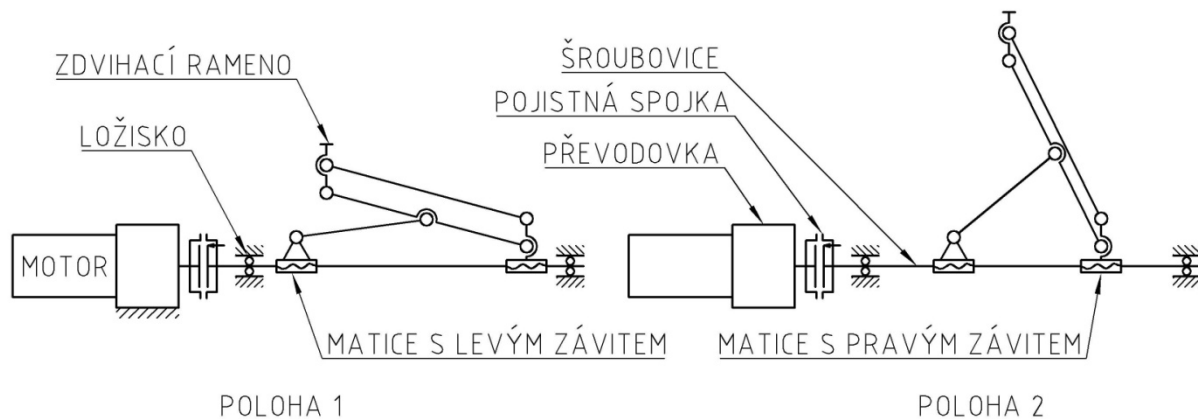
Ovládání všech kol:



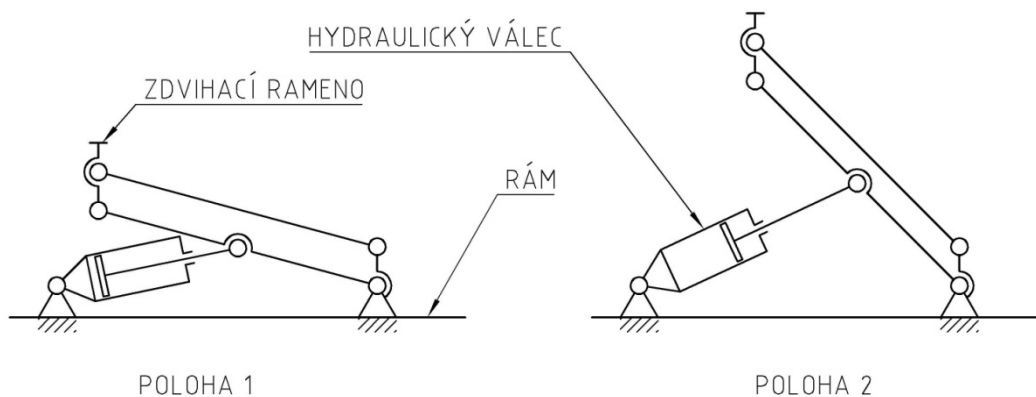
Příloha P8

Nůžkové mechanizmy – jednoduchý rám

Zdvih nůžkovým mechanismem pomocí šroubu:

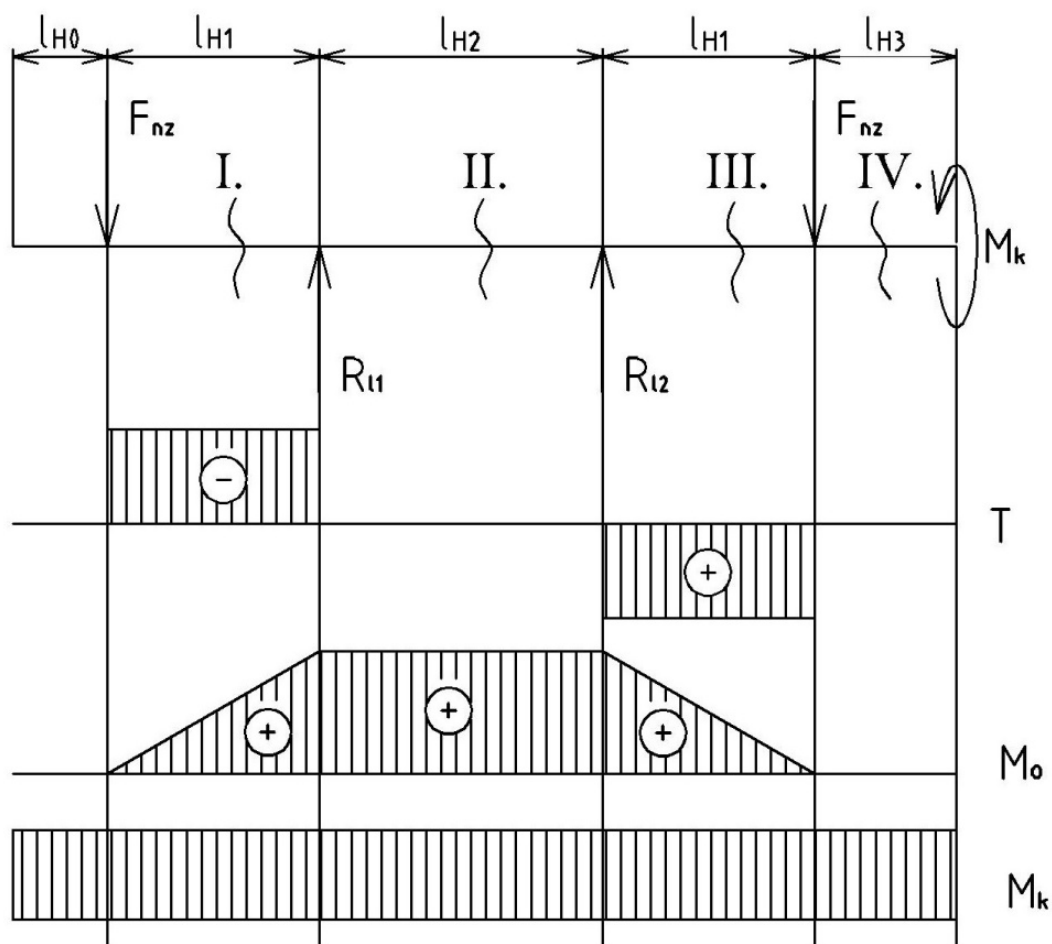


Zdvih nůžkovým mechanismem pomocí hydraulického válce:



Příloha P9

Průběh namáhání hřídele



Maximální ohybový moment v řezu č. II.:

$$M_{oII} = F_{nz} \cdot l_{H1} = 6720,85 \cdot 71,5 = 480540,775 \text{ Nmm}$$