



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

LETECKÉ STAVEBNÉ PRÁCE S VRTULNÍKMI

AIR WORKS WITH HELICOPTERS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavol Orolin

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Róbert Šošovička, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav

Student: **Pavol Orolin**

Studijní program: Strojírenství

Studijní obor: Profesionální pilot

Vedoucí práce: **Ing. Róbert Šošovička, Ph.D.**

Akademický rok: 2015/16

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

Letecké stavebné práce s vrtulníky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zhodnotenie technických podmienok,
Zhodnotenie legislatívnych podmienok,
Zhodnotenie ekonomických podmienok
Praktická práca s podvesom.

Cíle bakalářské práce:

- Posúdenie ekonomiky zvoleného typu vrtuľníka.
- Vypracovanie technologického postupu na príklade.
- Kvalifikácie pilota pro prácu s podvesom

Seznam literatury:

Prevádzková príručka leteckých prác.
prevádzkové príručky vrtuľníkov MI-8, MD-530F.
PART-FCL.
Annex ICAO VI. (L6).
Provozní příručka SK/ATO-07.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

Abstrakt

Táto bakalárska práca je zameraná na problematiku použitia vrtuľníkov pri leteckých stavebno-montážnych prácach. Pojednáva o ekonomike prevádzky vrtuľníkov a príčinou veľkej finančnej náročnosti pri tejto činnosti. Práca obsahuje stručný úvod do základného rozdelenia a princípu činnosti vrtuľníkov. Následne je zameraná na popis podvesnej súpravy a riziká spojené s jej používaním. Pozornosť je taktiež venovaná popísaní technologického postupu stavby lanovej dráhy, so zvoleným typom vrtuľníka. Obsah dopĺňa legislatívna časť, ktorá objasňuje výcvik pilotov pre lietanie s podvesnou súpravou.

Abstract

This bachelor work aim to issues of use the helicopters in the external sling load works. Deals with economic operation of helicopters and explain high financial costs in this activity. This thesis include short introduction to basic dividing of helicopters and principle how the helicopter works. Next is the attention given to description of external sling load set and risks including work with sling load. Attention is dedicated to technological procedure of build ski lift, with choosen type of helicopter. Content is complete with legislation, which explains pilot trainnig for flying with external sling load.

Kľúčové slová

Vrtuľník, práca s podvesom, letecké stavebno-montážne práce

Key words

Helicopter, external sling load work, aviation construction-instalation works

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že túto bakalársku prácu som vypracoval samostatne pod odborným vedením vedúceho bakalárskej práce. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal

V Brne dňa 25.5.2016

.....

Pavol Orolin

Bibliografická citácia

OROLIN, P. *Letecké stavebné práce s vrtulníkmi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016 47 s. Vedúci bakalárskej práce Ing. Róbert Šošovička, Ph.D.

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu práce Ing. Róbertovi Šošovičkovi, Ph.D. za pomoc pri tvorbe tejto práce. Za jeho odborné rady, ľudský prístup a jeho voľný čas. Ďalej by som chcel poďakovať mojej rodine za poskytnuté zázemie a podporu.

Pavol Orolin

Obsah

1	Úvod	9
2	História vrtuľníkov	10
3	Špecifické vlastnosti vrtuľníkov	11
3.1	Definícia vrtuľníku a jeho využitie	11
3.2	Parametre limitujúce vrtuľník	11
4	Základné rozdelenie, vlastnosti a princíp činnosti vrtuľníkov.....	13
4.1	Rozdelenie vrtuľníkov.....	13
4.1.1	Jednorotorové usporiadanie	13
4.1.2	Viacrotorové usporiadanie	14
4.2	Vznik vztlaku na rotore	15
4.3	Obmedzenie maximálnej rýchlosti.....	16
4.4	Prízemný efekt.....	17
4.5	Vírový prstenec	17
4.6	Riadenie vrtuľníka.....	17
5	Úvod do SMP s vrtuľníkmi.....	20
5.1	Špeciálne vrtuľníky určené pre SMP.....	20
6	Posúdenie ekonomiky vrtuľníkov pri SMP.....	22
6.1	Kritéria voľby vrtuľníka.....	22
6.2	Náklady spojené so SMP.....	22
6.3	Cenová kalkulácia	22
6.4	Zhodnotenie ekonomiky SMP.....	24
7	Praktická práca s podvesom.....	25
7.1	Technické vybavenie vrtuľníka pre SMP	25
7.2	Údržba podvesného zariadenia.....	30
7.2.1	Predletová kontrola	30
7.2.2	Dobové prehliadky.....	31
8	Personál pri SMP.....	33
8.1	Letová posádka.....	33
8.2	Pozemný personál	34
9	Technologický postup.....	35
9.1	Popis	35
9.2	Charakteristika podpier	35
9.3	Príprava pred zahájením práce s vrtuľníkom	36
9.4	Montáž dielov	37
10	Riziká pri práci s podvesným zariadením	38
11	Požiadavky na výcvik pilotov.....	40
11.1	Všeobecné požiadavky:.....	40
11.2	Chronológia výcviku	40

11.2.1	PPL.....	40
11.2.2	CPL	40
11.2.3	ATPL.....	41
11.2.4	Kvalifikácia pre lety s podvesom.....	41
11.3	Nariadenie komisie EÚ	41
12	Záver	42
13	Zoznam použitých zdrojov.....	43
14	Zoznam použitých skratiek, symbolov a veličín	45
15	Zoznam použitých obrázkov a tabuliek.....	46

1 Úvod

Prvý krát sa s myšlienkou o zostrojení stroja s kolmým štartom, zaoberal legendárny Leonardo da Vinci už v 15. storočí. Odvtedy uplynulo mnoho času a vrtuľníky sa stali v spoločnosti nenahraditeľným, viacúčelovým dopravným prostriedkom. Zaslúžili si to najmä vďaka ich unikátnym letovým vlastnostiam.

Konštrukčne patria vrtuľníky k jedným z najzložitejších a najdômyselnejších strojov tejto doby. Ich rôznorodá konštrukcia len utvrdzuje možnosť ich všestranného využitia. Vrtuľníky sú častokrát prispôbované na rozličné práce už od počiatku návrhov daného typu. Ich špecifické zameranie je dosiahnuté vhodnou konštrukciou trupu, avionickým vybavením alebo doplnením výbavy pre daný typ prác.

Vrtuľníky sú v tejto dobe nenahraditeľným prostriedkom v stavebnom priemysle o čom pojednáva aj táto práca. Vrtuľníky sa používajú v stavebnom priemysle ako lietajúce žeriavy, ktoré zdvíhajú, premiestňujú a umiestňujú bremená na potrebné miesto. Ich výhodou je, že sa dostanú tam, kde pozemná zdvíhacia technika nedokáže. To robí z vrtuľníkov v tomto odvetví doposiaľ nenahraditeľným dopravným prostriedkom.

2 História vrtuľníkov

Igor Ivanovič Sikorskij pôvodom Rus, ktorý emigroval do Ameriky, sa považuje za vynálezcu vrtuľníka. Bol to prvý konštruktér, ktorý uplatnil všetky poznatky o konštrukcii vrtuľníkov a aplikoval ich na jeden stroj. Jeho pokusný vrtuľník s označením VS-300 postavil v roku 1939. Išlo o konštrukciu s jedným hlavným nosným rotorom a zo začiatku tromi malými riadiacimi chvostovými vrtuľkami. Toto usporiadanie v jeho druhom vyrobenom kuse Sykorskij vylepšil. Prešiel na usporiadanie s jedným zvislým vyrovnávacím rotorom obr. 1. Vrtuľník VS-300 bol poháňaný motorom Lycoming O-290-D1 s výkonom 97 kW. Trojlistý nosný rotor s priemerom 8,5 m rotoval rýchlosťou 225 ot/min. V Januári 1942 predstavil Sikorskij prvú plne ovládateľnú helikoptéru. V rovnakom roku bola zahájená prvá sériová výroba Sikorského typu. [1]



Obr. 1: Sikorského vylepšený vrtuľník VS-300

3 Špecifické vlastnosti vrtuľníkov

3.1 Definícia vrtuľníku a jeho využitie

Vrtuľník je motorové lietadlo, ťažšie ako vzduch, ktoré prekonáva vplyv gravitačného poľa a odporu okolitej atmosféry rotujúcimi nosnými plochami (listami) a je schopné vykonať zvislý vzlet a pristátie. [2]

Najvýznamnejšou schopnosťou vrtuľníka, je visieť vo vzduchu na mieste. Prednosťou vrtuľníkov je taktiež schopnosť pristáť a vzlietnuť na ploche minimálnych rozmerov, všade tam kde bežné lietadlá pristáť nedokážu. Vďaka tomu sú vrtuľníky využívané v stavebníctve ako žeriavy, v zdravotníctve ako prostriedok rýchleho transportu pacienta z nedostupných terénov a vo vojenskom sektore ako viacúčelový dopravný prostriedok.

3.2 Parametre limitujúce vrtuľník

Maximálna rýchlosť dnešných vrtuľníkov sa priemerne pohybuje okolo 135-160 kt (250-300 km/h). Ide o značnú nevýhodu oproti rýchlosti klasických lietadiel. Dôvodom je použitie rotujúcich nosných plôch (listov). Na týchto listoch od určitej rýchlosti letu dochádza k odtrhávaniu prúdenia a následnému kloneniu na stranu (viz. kap. 4). V súčasnosti drží rekord za maximálnu rýchlosť 255 kt (472 km/h) vrtuľník Eurocopter X3 obr. 2. Ide hybrid používajúci nosný rotor, ktorý umožňuje kolmý vzlet a pristátie. Vrtuľník je vybavený dvoma vrtuľami, ktoré sú umiestnené na krátkych krídlach a vytvárajú ťah. [18]



Obr. 2: Vrtuľník Eurocopter X3

Dynamický dostup súčasných vrtuľníkov sa pohybuje okolo 14 500 ft (4 420 m). Dostup je ovplyvňovaný hlavne výkonom pohonných jednotiek. Táto hodnota je výrazne nižšia ako u bežných dopravných lietadiel. Tento limitujúci parameter vrtuľníky nestavia do nevýhody voči bežným lietadlám, pretože prednosti vrtuľníkov sa využívajú najmä v malých prízemných výškach. Najvyššia výška dosiahnutá vrtuľníkom je 40 820 ft (12 445 m) typom Aerospatiale SA 315B Lama obr. 3. [19]



Obr. 3: Vrtuľník Aerospatiale SA 315B Lama

Statický dostup sa rozdeľuje na dostup s prízemným efektom a bez prízemného efektu. Prízemný efekt značne zvyšuje statický dostup, pretože ide o jav, ktorý znižuje potrebný výkon pohonných jednotiek pre udržanie vrtuľníku vo vise (viz. kap. 4). Z toho vyplýva, že statický dostup bez prízemného efektu bude vždy nižší ako s prízemným efektom. Za najvyšší statický dostup s prízemným efektom sa dá považovať pristátie vrtuľníka AS 350 B3 obr.4 na Mount Evereste 29 021 ft (8 848m). [20]



Obr. 4: Vrtuľník AS 350 B3

Vzletová hmotnosť je rozdielna u každého vrtuľníka. Je daná výkonom pohonných jednotiek a taktiež konštrukciou draku. Historicky najvyššia vzletová hmotnosť 105 000 kg je pripísaná ruskému vrtuľníku Mil Mi-12 obr.5. Vrtuľník je taktiež držiteľom rekordu za zdvihnutie najťažšieho nákladu s hmotnosťou 44 300 kg, ktorý bol umiestnený v trupe. [21]



Obr. 5: Vrtuľník Mil Mi-12

4 Základné rozdelenie, vlastnosti a princíp činnosti vrtuľníkov

4.1 Rozdelenie vrtuľníkov

Vrtuľníky sa rozdeľujú podľa množstva špecifických znakov. Pri rozdeľovaní vrtuľníkov sa berie do úvahy počet rotorov, počet motorov, usporiadanie rotorov, spôsob vyrovnávania reakčného momentu, spôsob riadenia, spôsob pristátia a mnoho ďalších. V tejto práci bude pojednané len o rozdeleniach, ktoré sú najzákladnejšie.

4.1.1 Jednorotorové usporiadanie

Ide o najrozšírenejšiu konštrukciu v súčasnosti. Vztlakovú silu vytvára jeden nosný rotor. Reakčný moment vytvorený nosným rotorom sa eliminuje vyrovnávacím rotorom, fenestrónom alebo systémom NOTAR. Výhodou je jednoduchá a spoľahlivá konštrukcia. Nevýhodou je strata výkonu na pohone vyrovnávacieho rotoru, fenestrónu alebo NOTARu.

A) Vrtuľníky používajúce vyrovnávací rotor. Vyrovnávajúci rotor je umiestnený na dlhom chvostovom nosníku, ktorý zaisťuje dostatočnú dĺžku ramena, čím výrazne znižuje potrebný ťah vyvodzovaný vyrovnávacím rotorom. Ide o konštrukčne najjednoduchšie a najspoľahlivejšie riešenie. Predstaviteľom vrtuľníka používajúceho vyrovnávací rotor je Robinson R-66 obr. 6.



Obr. 6: Vrtuľník Robinson R-66 s vyrovnávacím rotorom

B) Vrtuľníky používajúce fenestrón. V podstate ide o ventilátor, ktorý je rovnako ako vyrovnávací rotor umiestnený na chvostovom nosníku. Je tvorený vhodne tvarovaným vzduchovým kanálom, v ktorom sú umiestnené lopatky ventilátora. Výhodou je menšia energetická náročnosť. V porovnaní s vyrovnávacím rotorom dochádza k 30 % úspore. [2] Ďalšími výhodami sú ochrana lopatiek voči stretu s prekážkou, menšia hmotnosť a nižšia hlučnosť v porovnaní s predchádzajúcim usporiadaním. Vrtuľník EC 120 obr. 7 je vybavený fenestrónom.



Obr. 7: Vrtuľník EC 120 používajúci fenestrón

C) Vrtuľníky používajúce systém NOTAR. Názov NOTAR vznikol z anglického názvu „No Tail Rotor“ čo v preklade znamená vrtuľník bez vyrovnávajúceho rotora. Tento systém je kombináciou obtekania vzduchu okolo chvostového nosníka, čím vzniká Coandov efekt a výtokovej dýzy na jeho konci [2]. Výhodou je menšia hmotnosť, nižšia hlučnosť a väčšia bezpečnosť, ktorá vyplýva z absencií rotujúcich častí. Nevýhodou je menšia účinnosť a spomalené účinky riadenia v porovnaní s vyrovnávajúcim rotorom. Jeden z vrtuľníkov používajúcich systém NOTAR je MD-520N obr. 8.



Obr. 8: Vrtuľník MD-520N so systémom NOTAR

4.1.2 Viacrotorové usporiadanie

A) Vrtuľník so suosými rotormi. V praxi sa často stretávame s názvom koaxiálne usporiadanie rotorov. Rotory sú umiestnené nad sebou a rotujú v opačnom zmysle čím vyrovnávajú reakčný moment. Rotory musia byť umiestnené v dostatočnej vertikálnej vzdialenosti a to z dôvodu aby sa predišlo ich stretu pri mávaní (pohyb listu okolo vodorovné závesu). Výhodou usporiadania je úspora výkonu (nie je potrebný vyrovnávací rotor). Jeho nevýhodou je pomerne zložitá výroba rotoru a údržba. Najrozšírenejšia rada vrtuľníkov používajúcich koaxiálne usporiadanie je Kamov. Pre stavebno-montážne práce (ďalej len SMP) sa najviac používa Kamov K-32 obr. 9.

B) Vrtuľník s prelínajúcimi rotormi. Rotory sú umiestnené na hornej časti trupu a sú voči sebe pootočené. Tým je dosiahnuté ich prelínanie. Nevýhodou je zložitý zaistenie synchronizácie otáčok oboch rotorov. Pri ich nedodržaní by hrozil stret medzi listami rotorov. V súčasnosti je v tejto koncepcii vyrábaný vrtuľník Kaman K-Max obr. 10.

C) Vrtuľník s tandemovým usporiadaním rotorov. Toto usporiadanie je typické pre veľké transportné vrtuľníky. Rotory sú umiestnené za sebou v smere pozdĺžnej osi pričom zadný rotor je vyššie ako predný. Dôvodom je zabránenie stretu listov rotora pri mávaní. Výhodou je malá citlivosť na zmenu ťažiska a dobrá pozdĺžna stabilita. Nevýhodou je zložitá konštrukcia transmisie a ovládania. Typickým príkladom tohto usporiadania je Ch-47 Chinook obr. 11.

D) Vrtuľníky s priečne uloženými rotormi. Rotory sú umiestnené na bočných stranách trupu. Spravidla na nosníkoch, ktoré tvoria krídlo. Táto koncepcia má výhody v dobrej priečnej stabilite a vďaka použitiu nosných krídel znižuje nárok na zaťaženie rotorov. Nevýhodou je zložitá konštrukcia a veľká hmotnosť. Príkladom je ruský vrtuľník Mil Mi-12 obr. 12.



Obr. 9: Vrtuľník Kamov K-32



Obr. 10: Vrtuľník Kaman K. Max



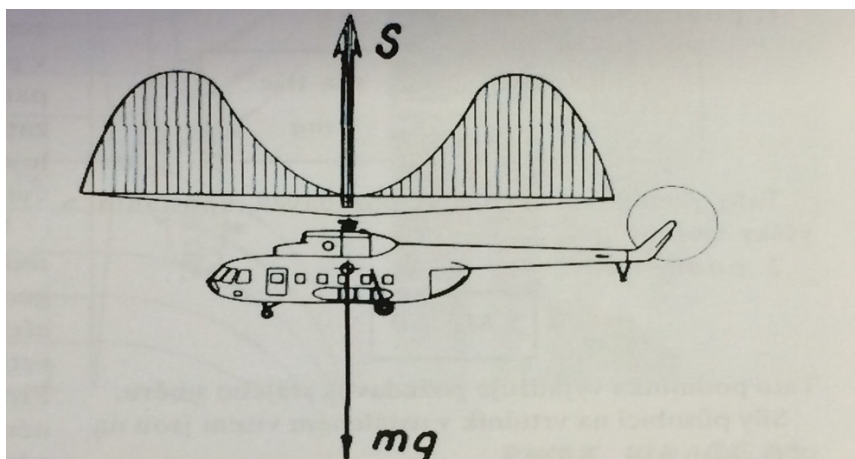
Obr. 11: Vrtuľník Chinook Ch-47



Obr. 12: Vrtuľník Mi-12

4.2 Vznik vztlaku na rotore

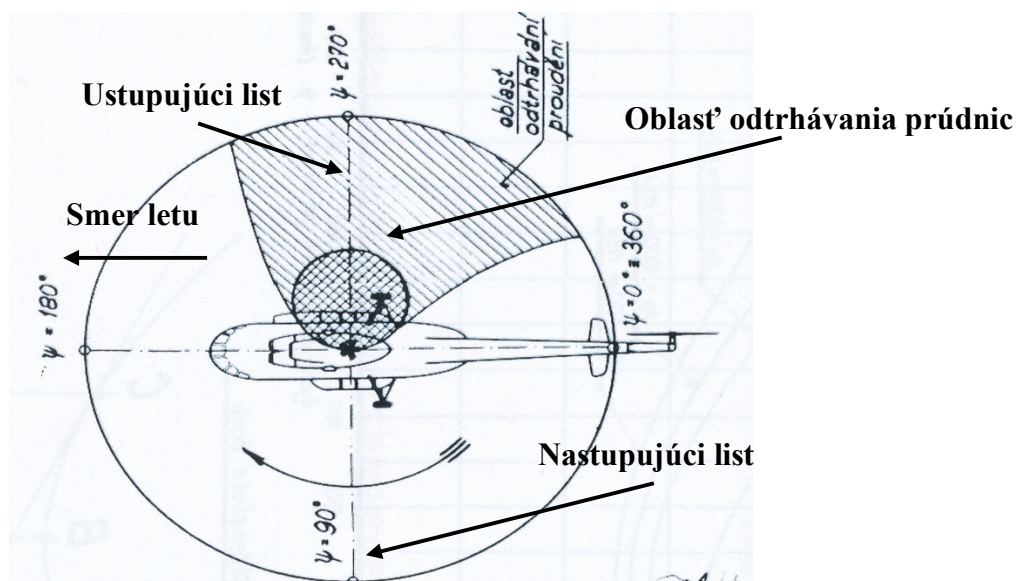
Vrtuľník využíva na vytvorenie vztlakovej sily rotujúce nosné plochy tzv. listy. V podstate sa jedná o krídla, ktoré používajú bežné lietadla. List vrtuľníka rotuje, pričom vzniká určitá rýchlosť obtekania profilu aj bez doprednej rýchlosti vrtuľníka, čo umožňuje vznik vztlaku za visu. Vztlak sa vytvára rovnako ako na krídle klasického lietadla, vytvorením podtlaku, spôsobeného zvýšenou rýchlosťou obtekania na hornej strane profilu. Pre získanie celkového vztlaku rotoru je nutné sčítať vytvorený vztlak na jednotlivých listoch rotora, čím dostaneme tzv. ťah rotora S obr. 13.



Obr.13 Rozloženie vztlaku na nosnom rotore

4.3 Obmedzenie maximálnej rýchlosti

Rýchlosť obtekania listov nosného rotora je pri doprednom lete závislá na ich azimutálnej polohe. Z obr.14 je zrejmé, že ak sa vrtuľník pohybuje v naznačenom smere letu a má pravotočivý rotor, tak v azimute $\Psi = 270^\circ$ sa nachádza ustupujúci list a v azimute $\Psi = 90^\circ$ nastupujúci list. Ustupujúci list má rýchlosť obtekania zníženú o rýchlosť dopredného letu a naopak nastupujúci list má rýchlosť obtekania zvýšenú o rýchlosť dopredného letu. Z toho vyplýva, že na rotore dochádza k vzniku asymetrie vztlaku v dôsledku rozdielnej rýchlosti obtekania. Asymetriou vztlaku vznikne klonivý moment na stranu ustupujúceho listu, ktorý je nutné zásahom do riadenia eliminovať. Zásah do riadenia spôsobí zvýšenie uhlu nábehu na strane ustupujúceho listu. Ak sa rýchlosť letu zvyšuje, dochádza k narastaniu asymetrie vztlaku na rotore a tým pádom, k zvyšovaniu uhlu nábehu na strane ustupujúceho listu až do hodnoty, kedy je uhol nábehu tak veľký, že dochádza k odtrhnutiu prúdenia na liste, čo má za následok klonenie okolo pozdĺžnej osi na stranu ustupujúceho listu. [3]



Obr. 14: Popis obmedzenia maximálnej rýchlosti vrtuľníka

4.4 Prízemný efekt

Prízemný efekt výrazne zvyšuje ťah rotora. Tento jav sa vyskytuje ak sa vrtuľník pri visení alebo pri veľmi malej doprednej rýchlosti nachádza vo výške do priemeru nosného rotora. Vtedy sa pod rotorom vytvorí vzduchový vankúš. Vzduchový vankúš vzniká pretože prúd vzduchu pod rotorom nemôže odtekať do voľnej atmosféry ale naráža do zeme kde sa deformuje a odteká do strán. Tým sa zníži prietoková rýchlosť a aj indukovaný uhol nábehu. Keďže geometrický uhol nábehu zostáva rovnaký zvýši sa efektívny uhol nábehu a tým výsledný ťah rotora [3]. Účinok prízemného efektu rastie so znižujúcou sa výškou a naopak klesá so zvyšujúcou sa výškou až do priemeru rotora kde zanikne. Pri SMP sa tento efekt využíva zriedkavo.

4.5 Vírový prstenec

Vírový prstenec vzniká pri rýchlom vertikálnom klesaní (500 ft/min. a viac) a žiadnej alebo minimálnej doprednej rýchlosti. Tým, že vrtuľník zväčšuje svoje vertikálne klesanie dochádza k stretu dvoch prúdov. Prúdu, ktorý bol urýchlený rotorovým diskom smerom dole a prúdom vzduchu smerujúcim nahor, vzniknutým klesaním. Tieto dva prúdy sa stretávajú a dochádza k vzniku oblasti vírov. Rotor sa dostáva do oblasti vírov a dochádza k značnej strate ťahu na rotore vplyvom vírov. Tento stav je ľahko rozpoznateľný. Vrtuľník sa silno rozvibruje a prudko zvýši svoje klesanie. Ak sa vrtuľník dostane do vírového prstenca je nutné zvýšiť doprednú rýchlosť vrtuľníka aby sa obnovilo šikmé obtekanie rotora a tým zabránilo vzniku vírov. Sila vírového prstenca rastie so zvyšujúcou sa rýchlosťou klesania. Vírový prstenec nevzniká v prízemnom efekte. Tento jav je obzvlášť nebezpečný v blízkosti zeme, kedy pilot nemusí mať dostatočnú výšku na vybratie tohto režimu letu. Pri SMP je možnosť vzniku vírového prstenca veľmi veľká keďže bremená sa väčšinou umiestňujú mimo prízemného efektu v malej výške.

4.6 Riadenie vrtuľníka

Vrtuľník sa v priebehu letu pohybuje okolo všetkých troch ôs. Z tohto dôvodu musí byť pilotovi umožnené riadiť vrtuľník okolo týchto ôs. Pri lietadlách sa riadiace sily vyvodzujú riadiacimi plochami tzn. krídelkami okolo pozdĺžnej osi, výškovým kormidlom okolo priečnej osi a smerovým kormidlom okolo zvislej osi. Vrtuľník má oproti lietadlu zložitejšie ovládanie. Riadiacimi orgánmi vrtuľníka sú:

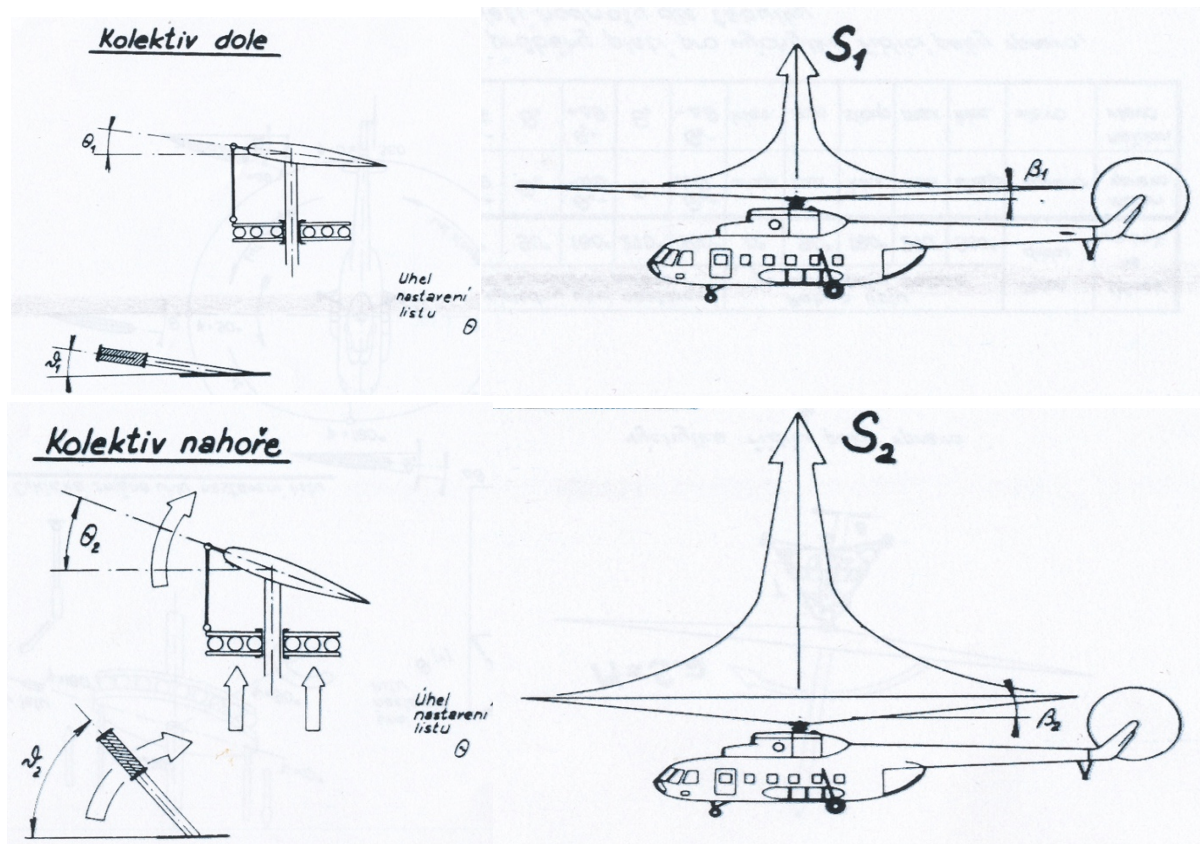
- Cyklické riadenie
- Kolektívne riadenie spojené s regulátorom otáčok nosného rotora
- Nožné riadenie

Cyklické riadenie je umiestnené priamo pred pilotom, drží sa pravou rukou. Cyklické riadenie umožňuje pilotovi ovládať vrtuľník okolo priečnej a pozdĺžnej osi. Podstatou priečneho a pozdĺžneho riadenia je cyklická zmena uhlu nastavenia listov v priebehu jednej otáčky rotora. Tým pádom sa na rotorovom disku nerovnomerne rozloží vztlaková sila. Tá nakloní aj vektor výsledného ťahu rotora, pričom vznikne horizontálna zložka (červenou farbou), ktorá spôsobí pohyb vrtuľníka v horizontálnej rovine obr. 15.



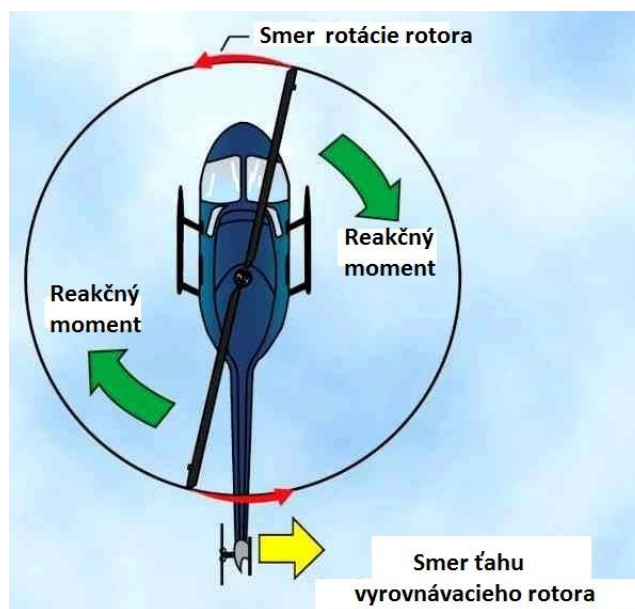
Obr. 15: Vplyv cyklického riadenia na nosný rotor

Kolektívne riadenie spojené s regulátorom otáčok nosného rotora sa nachádza pri ľavom boku pilota a drží sa ľavou rukou. Kolektívne riadenie umožňuje pilotovi meniť kolektívne (v rovnakom čase na všetkých listoch) uhol nastavenia listov. To sa prejaví prírastkom pri zdvihnutí kolektívu obr. 16 alebo poklesom pri znížení kolektívu výsledného ťahu rotora S . Čo dovoľuje stúpanie alebo klesanie vrtuľníka. Pri kolektívnom zvyšovaní resp. znižovaní uhlu nastavenia listov sa mení odpor celého rotorového disku. Preto sa súčasne reguluje výkon motora tak, aby udržal konštantné otáčky nosného rotora.



Obr. 16: Vplyv zvýšenia kolektívneho riadenia na vrtuľník

Nožné riadenie umožňuje riadenie okolo zvislej osi. Pri vrtuľníkoch má ešte jednu podstatnú funkciu a to je vyrovňavanie reakčného momentu nosného rotora obr.17. Krútiaci moment motora sa prenáša na nosný rotor. Avšak rovnako veľký ale opačne orientovaný moment sa prenáša na trup vrtuľníka. Tento moment sa nazýva reakčný moment, ktorý je nutné pomocou vyrovnávacieho rotora eliminovať. Reakčný moment narastá so zvyšovaním kolektívneho uhlu nastavenia listov a naopak klesá jeho znižovaním.



Obr. 17: Nákres vyrovňavania reakčného momentu

5 Úvod do SMP s vrtuľníkmi

Postupom času, rozvojom techniky a infraštruktúry začali byť vrtuľníky neoddeliteľnou súčasťou mnohých stavebných prác v terénoch nedostupných pre pozemnú zdvíhaciu techniku. Do týchto prác patrí montáž klimatizačných zariadení, anténnych vysieláčov, stĺpov a stožiarov vysokého napätia a mnoho ďalších SMP.

5.1 Špeciálne vrtuľníky učené pre SMP

Vrtuľníky používané na tento druh prác sú často prispôsobené svojou konštrukciou alebo avionickým vybavením tak ako vrtuľník S-64 obr. 18, nazývaný taktiež Skycrane, čo v preklade znamená „Žeriav na oblohe“. Tento typ nemá priestor pre pasažierov. Namiesto priestoru pre prepravu pasažierov má zabudované podvesné zariadenie, ktoré sa dá vymeniť za nádrž s vodou určenú na hasenie požiarov. Vrtuľník S-64 je schopný zdvihnúť bremeno o hmotnosti 11 340 kg. [22]



Obr. 18: Vrtuľník S-64 Skycrane

Špeciálne prispôbenú konštrukciu trupu pre SMP má aj vrtuľník Mil Mi-10 obr. 19. Trup je umiestnený na vysokom podvozku čo umožňuje vrtuľníku rolovať priamo nad náklad, ktorý sa následne uchytí do špeciálnych zámkov. Pod trup je možné umiestniť nákladnú plošinu, ktorá slúži napr. na prepravu automobilov alebo nákladov väčších rozmerov. Na prepravu bremien pomocou lana sa používa verzia Mil Mi-10K obr. 20, ktorá má skrátený podvozok a je vybavená kabínou pre pilota operátora, ktorá je umiestnená pod hlavnou kabínou a je otočená proti smeru letu. Táto rozhľadňa umožňuje pilotovi operátorovi, ktorý riadi vrtuľník priamo z nej udržiavať nepretržitý vizuálny kontakt s bremenom. Vrtuľník dokáže zdvihnúť na nosnom lane 11 000 kg a v priestore trupu prepraviť 28 pasažierov. V novšej verzii vylepšenej o výkonnejšie motory sa nosnosť na nákladnom lane zvyšuje na 14 000 kg. [23]



Obr. 19: Vrtuľník Mil Mi-10 so zabudovanou nákladnou plošinou



Obr. 20: Vrtuľník Mil Mi- 10K s kabínou pilota operátora

Vrtuľník Mil Mi-26 obr. 21 je najväčší transportný vrtuľník na svete. Jedná sa o viacúčelový vrtuľník, ktorý dokáže prepravovať náklad o hmotnosti 27 800 kg alebo 80 pasažierov v trupe. Taktiež je schopný zdvihnúť bremeno na nosnom lane o hmotnosti 20t. [24]



Obr. 21: Najväčší transportný vrtuľník na svete Mil Mi-26

6 Posúdenie ekonomiky vrtuľníkov pri SMP

6.1 Kritéria voľby vrtuľníka

Finančné náklady spojené s nákupom a prevádzkou vrtuľníkov pri SMP sú veľmi vysoké. Z toho dôvodu sa vždy, ak je to len trochu možné, používajú pozemné zdvíhacie prostriedky alebo ich kombinácia s vrtuľníkom.

Zvolený typ vrtuľníka pre danú prácu závisí na druhu stanovenej práce, na prostredí, kde sa má práca vykonávať a na hmotnosti bremien. Za náročnejšie miesta, na letecké stavebné práce, sú pokladané hornaté a husto zastavané oblasti. Najprísnejším kritériom pri zvoľení vhodného typu vrtuľníka je hmotnosť bremena. Vrtuľník musí byť dostatočne výkonný a prispôsobený na zdvihnutie daného bremena. Nosnosť vrtuľníka klesá s rastúcou výškou a taktiež klesá s rastúcou teplotou. To v niektorých prípadoch vedie k zvoľeniu nákladnejšieho typu vrtuľníka, ktorý poskytuje dostatočný výkon pre umiestnenie bremena na dané miesto. Všeobecne platí pravidlo, že čím je bremeno ťažšie a práce prebiehajú vo vyšších polohách, tým sú vyššie finančné náklady. Dôvodom je použitie väčšieho a výkonnejšieho vrtuľníka, ktorý je drahší na prevádzku.

6.2 Náklady spojené so SMP

Pri SMP sú náklady s porovnaním na bežnú letovú hodinu, tzn. na prelet, vyššie. Tieto náklady sú spojené s vysokou náročnosťou práce a dodatočným personálom, ktorý pracuje na zemi alebo dopĺňa letovú posádku. Personál na zemi tvoria montéri, viazači bremien, letecký technici a plniči pohonných hmôt. Pri rozmernejších vrtuľníkoch letovú posádku dopĺňa palubný operátor (viz kap. 8). Taktiež je nutné týchto pracovníkov dopraviť na miesto kde sa bude práca vykonávať a zaistiť im sociálne zázemie, čo prináša náklady navyše. Podvesná súprava podlieha pravidelnej údržbe a pri opotrebovaní jednotlivých komponentov je potrebná ich výmena, ktorú je nutné finančne pokryť.

6.3 Cenová kalkulácia

Pre výpočet cenovej kalkulácie boli zvolené dva typy vrtuľníkov používajúce sa na SMP firmou TECH-MONT Helicopter company s.r.o. Jedná sa o vrtuľníky MD-530F a Mi-8T.

Vrtuľník MD-530F obr. 22 je americkej výroby. Jedná sa o ľahký jednomotorový, turbohriadeľový vrtuľník s výkonom 483 kW. Maximálna hmotnosť bremena na nákladnom háku činí 901kg. Posádku tvorí jeden pilot. Vrtuľník je vhodný na prepravu ľahších bremien ako sú napríklad GSM technológie, zasnežovacie zariadenia a taktiež je používaný pri hasení požiarov a v lesnom-vodnom hospodárstve. [4]



Obr. 22: Vrtuľník MD-530F pri hasení požiarov

Cenovú kalkuláciu na jednu letovú hodinu udáva tab.1. Táto kalkulácia je počítaná na ročný nálet 300 letových hodín, pričom výsledná suma vyjadruje približné náklady spojené s prevádzkou vrtuľníka pri SMP. Nákupná cena nového vrtuľníka MD-530F je 1 770 000 €.

tab.1

Nákup vrtuľníka a podvesnej výbavy:	500 €
Letová posádka a pozemný personál:	300 €
Pravidelná údržba:	100 €
Palivo:	170 €
Prevádzkové kvapaliny:	5 €
Zákonná a havarijná poisťka:	10 €
Súčet:	1 085 €

Vrtuľník Mi-8T obr. 23 je Ruskej výroby. Ide o ťažký dvojmotorový, turbohriadeľový vrtuľník s výkonom 1 118 kW na jednu pohonnú jednotku. Maximálna hmotnosť bremena na nákladnom háku je 3000 kg. Posádku tvorí prvý pilot, druhý pilot a palubný operátor. Vrtuľník sa využíva na stavbu lanových dráh, vývoz stavebného materiálu pre vysoko položené chaty, výstavbu elektrických stĺpov a ukladanie vodičov a mnoho ďalších SMP. [5]



Obr. 23: Vrtuľník Mi-8T prepravujúci diel lanovej dráhy

Cenová kalkulácia na letovú hodinu tab.2 je rovnako ako v predchádzajúcom prípade vypočítaná na 300 letových hodín ročne. Nákupná cena vrtuľníka Mi-8T sa pohybuje okolo 3 000 000 €.

tab.2

Nákup vrtuľníka a podvesnej výbavy:	1 200 €
Letová posádka a pozemný personál:	780 €
Pravidelná údržba:	120 €
Palivo:	1000 €
Prevádzkové kvapaliny:	10 €
Zákonná a havarijná poistka:	10 €
Súčet:	3 120 €

6.4 Zhodnotenie ekonomiky SMP

Z kalkulácie ceny pri SMP oboch vrtuľníkov vyplýva, že prevádzka vrtuľníka Mi-8T na letovú hodinu je približne tri krát drahšia ako vrtuľníka MD-530F. Dôvodom je vyššia nákupná cena, početnejšia letová posádka, vyššia spotreba paliva a náročnejšia údržba. Z uvedeného rozdielu je zrejmé, že voľba vhodného typu je mimoriadne dôležitá.

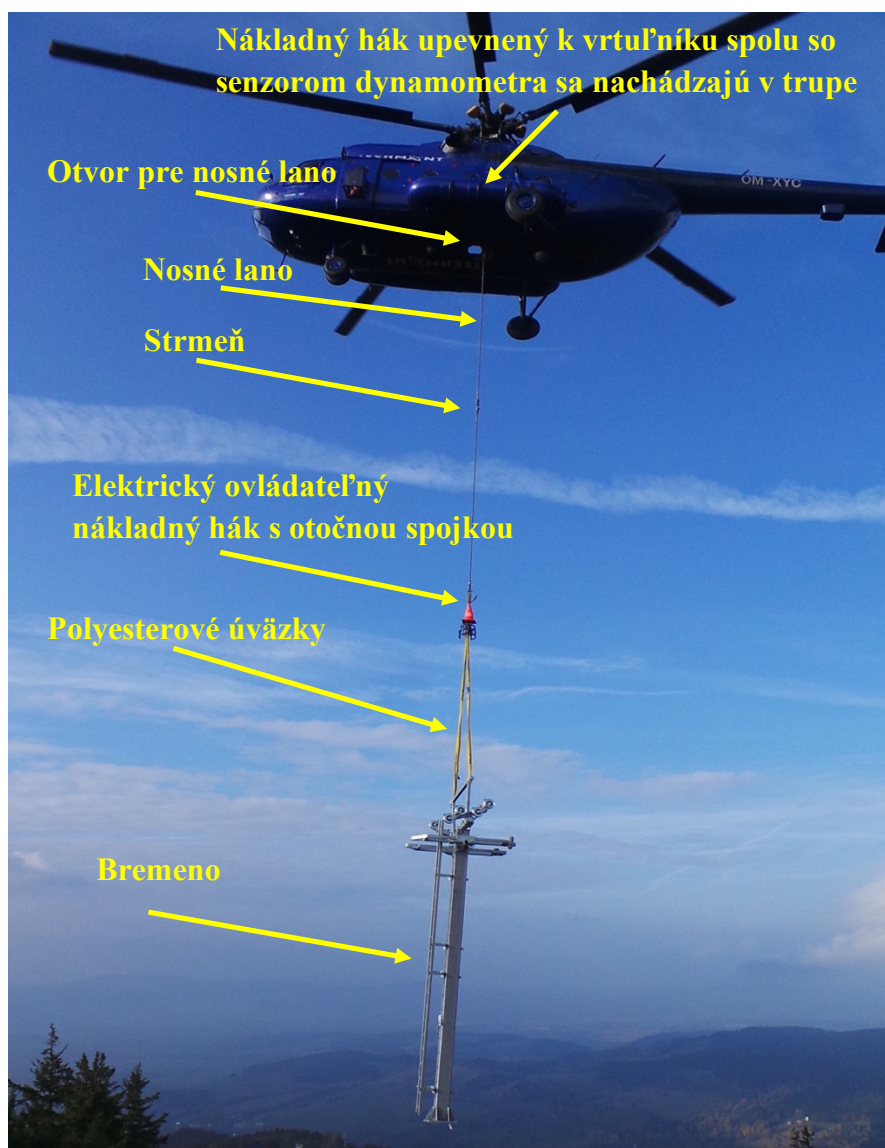
Kalkulovaná suma sa môže ďalej líšiť náročnosťou práce. Medzi náročnejšie práce patria práce s presným uložením ako napríklad stavba lanových dráh, antén, montáž klimatizácií a iné. Za jednoduchšie sú považované práce s nepresným uložením to zahŕňa ťažbu dreva, vápnenie lesov, hasenie požiarov.

7 Praktická práca s podvesom

7.1 Technické vybavenie vrtuľníka pre SMP

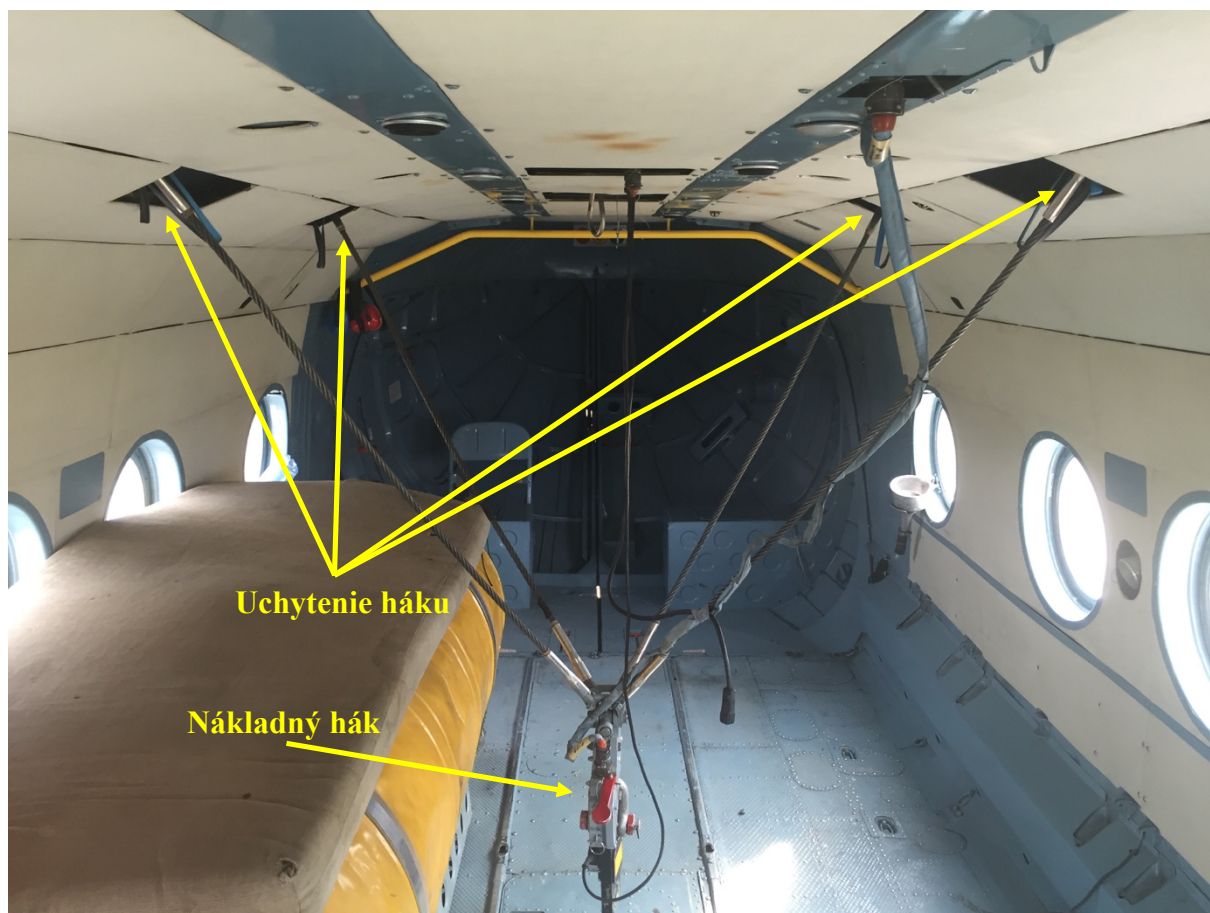
Podvesná súprava tvorí neoddeliteľnú súčasť vrtuľníka pri SMP. Umožňuje uchytiť bremeno pod vrtuľník a umiestniť ho na potrebné miesto. Sú na ňu kladené mimoriadne požiadavky a to hlavne na nosnosť, nízku hmotnosť, kompaktné rozmery a možnosť meniť jej dĺžku v čo najkratšom čase. V tejto práci sú uvedené prostriedky používané pri presnom uložení bremien.

- Nákladný hák upevnený k vrtuľníku
- Dynamometer
- Nosné lano so strmeňmi
- Jednoduchý nákladný hák alebo elektrický ovládateľný nákladný hák opatrený otočnou spojkou pre uchytienie bremena
- Úväzky



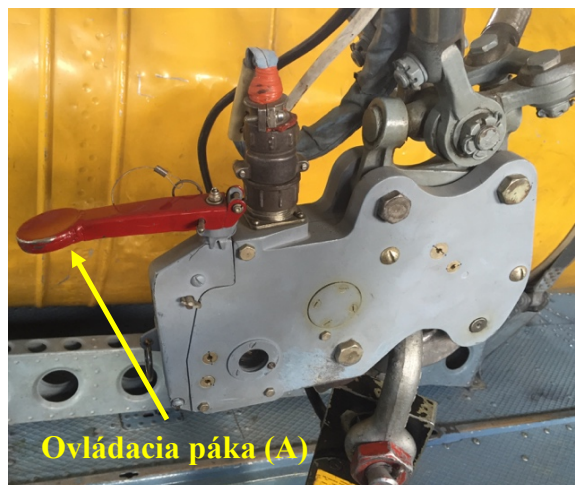
Obr. 24: Usporiadanie prvkov podvesnej súpravy

Nákladný hák upevnený k vrtuľníku je uchytený štvorbodovo pomocou oceľových lán. Tieto laná sú upevnené k silovým bodom konštrukcie vrtuľníka obr.25.

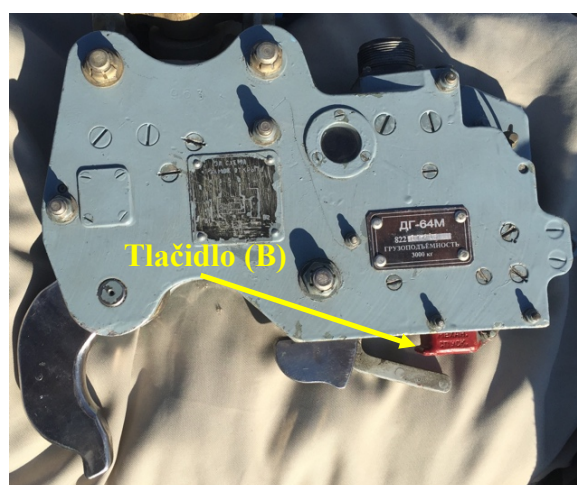


Obr. 25: Spôsob uchytenia nákladného háku upevneného k vrtuľníku

Jedná sa o nákladný hák s označením DG-64M. Tento hák má nosnosť 3000 kg. Háč je ovládaný mechanicky alebo elektricky. Mechanické otváranie ovláda palubný operátor pomocou ovládacej páky (A) obr. 26 alebo záložným tlačidlom pod ochranným krytom (B) obr. 27.

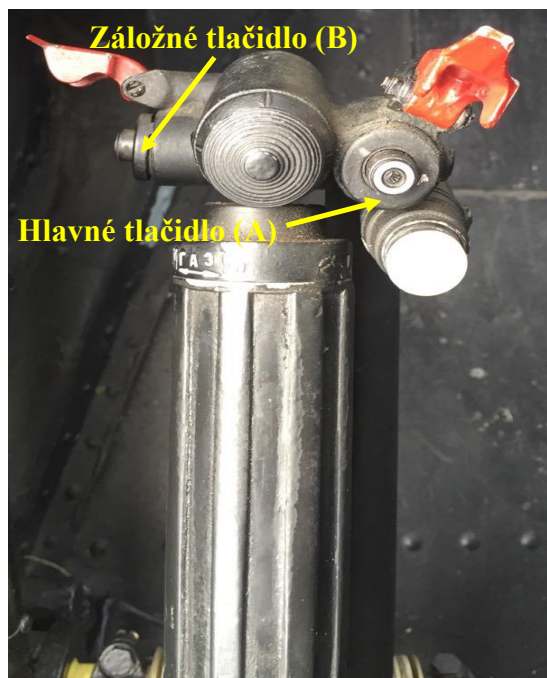


Obr. 26: Mechanické ovládanie

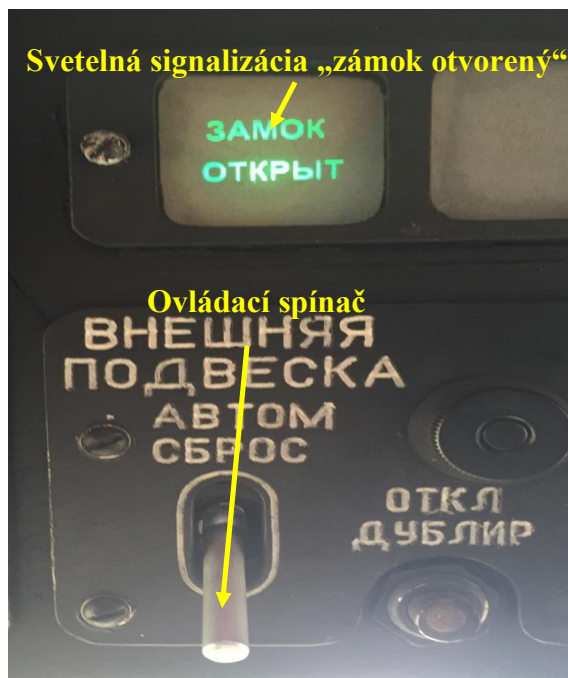


Obr. 27: Záložné mechanické ovládanie

Elektrické otváranie ovláda kapitán vrtuľníka tlačidlami na kolektívnom riadení. Tieto tlačidlá sú dve hlavné (A) a záložné (B) obr. 28. Možnosť otvorenia nákladného háku má aj druhý pilot respektíve palubný operátor pomocou spínača obr. 29 . Pri otvorení zámku sa rozsvieti svetelná signalizácia „zámok otvorený“. Pokyn na otvorenie nákladného háku dáva vždy kapitán.



Obr. 28: Elektrické ovládanie kapitána



Obr. 29: Elektrické ovládanie spínačom

Dynamometer sa používa na kontrolu hmotnosti bremena. Prakticky ide o váhu, ktorá slúži na zvaženie prepravovaného bremena. Jeho senzor obr. 31 je umiestnený na nákladnom háku vo vrtuľníku. Ukazovateľ obr. 30 prepravovanej hmotnosti sa nachádza v zornom poli kapitána vrtuľníka.

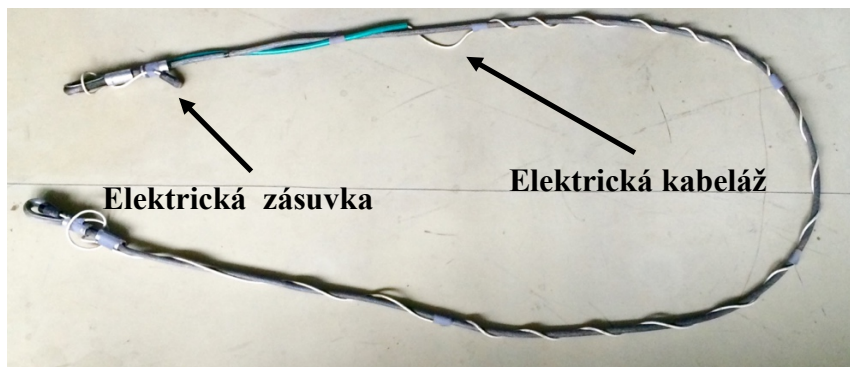


Obr. 30: Ukazovateľ hmotnosti



Obr. 31: Senzor dynamometra

Nosné laná obr. 32 sú vyrábané z oceli. Laná majú rôzne dĺžky, najbežnejšie 1m, 2m, 5m, 10m, 15m a 20m. Nosnosti jednotlivých lán sú vždy minimálne také aká je maximálna nosnosť vrtuľníka s bezpečnostným koeficientom 2,5. Súčasťou každého lana je uvoľňovací certifikát, v ktorom je uvedený bezpečnostný koeficient. V prípade použitia elektrického nákladného háku sú oceľové laná opatrené elektrickou kabelážou. Ak sa použije mechanický hák tak lano nie je vybavené elektrickou kabelážou. Spojenie rôznych dĺžok lán sa vykonáva pomocou vysokopevnostných zaistovacích strmeňov s požadovanou nosnosťou.



Obr. 32: Nosné lano vybavené kabelážou

Strmene obr. 33 sú vyrobené z vysokopevnostnej oceli. Používajú sa na spájanie rôznych dĺžok lán. Dajú sa zaistiť závlačkami alebo viazacím drôtom.



Obr. 33: Strmene rôznych veľkostí

Jednoduchý nákladný hák obr. 34 sa používa na manuálne pripnutie alebo odpnutie bremena od nosného lana vrtuľníka. Tento hák obsluhuje montér alebo viazač bremien.

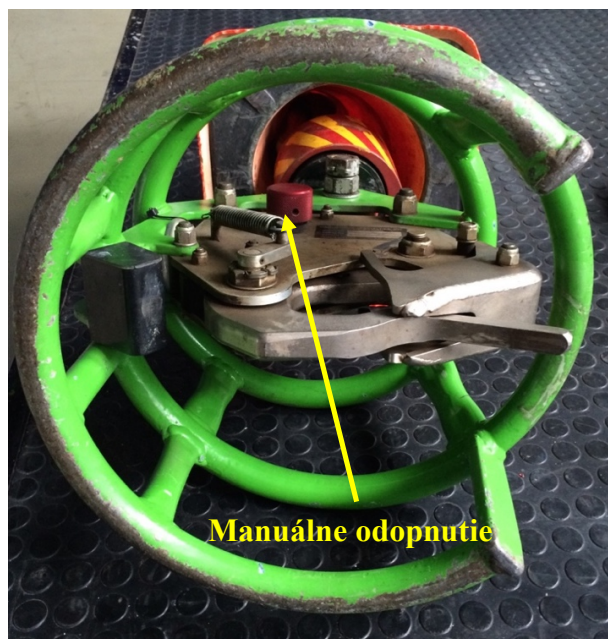


Obr. 34: Jednoduchý nákladný hák opatrený otočným ložiskom

Elektrický ovládateľný nákladný hák pre uchytienie bremena obr. 35, 36 sa používa v prípadoch ak je potrebné odopnúť prepravované bremeno z paluby vrtuľníka. Táto situácia nastáva ak ručné odopnutie bremena nie je bezpečné alebo možné. Tento hák je ovládaný palubným operátorom pomocou ovládacej rúčky na pokyn kapitána vrtuľníka. Hák disponuje aj mechanickým otváraním, ktoré môže ovládať montér na zemi. Je umiestnený v ochrannej kletke, ktorá zabráňuje poškodeniu mechanizácie háku a je opatrený otočnou spojkou, ktorá umožňuje rotáciu bremena. Tým sa predchádza k poškodeniu nosného lana krutom.



Obr. 35: Pohľad na celý el. hák



Obr. 36: Pohľad na mechanizáciu háku

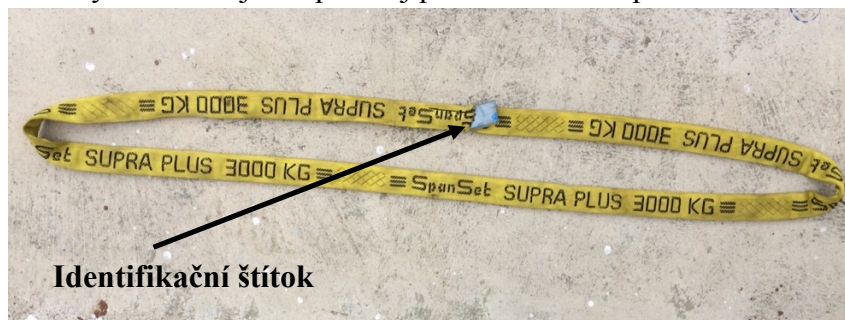
Úväzky slúžia na uviazanie bremena a pripnutie k jednoduchému alebo elektrickému nákladnému háku. Úväzky môžu byť oceľové alebo polyesterové.

Oceľové úväzky obr. 37 sú vyrobené z oceľových lán o požadovanej nosnosti. Používajú sa pri prácach, kde nie je možné použiť polyesterové úväzky. Ide o práce kde sa vyskytuje odieranie úväzku o bremeno, možnosť preseknutia úväzku o ostrú hranu bremena alebo môže dôjsť k inému poškodeniu. Táto situácia nastáva napr. pri ťažbe dreva. Každý oceľový úväzok je označený oceľovým štítkom na ktorom je uvedená maximálna nosnosť. Tieto hmotnosti sú uvedené aj v certifikátoch dodaných spolu s úväzkami.



Obr. 37: Oceľový úväzok

Polyesterové úväzky obr. 38 sú tvorené z polyesterových vlákien, ktoré sú uložené v ochrannom textilnom obale. Bremeno sa viaže úväzkami rôznymi spôsobmi. Každý z týchto spôsobov má inú maximálnu prípustnú nosnosť. Tá je uvedená spolu s typom uviazania na identifikačnom štítku úväzku. Štítok musí obsahovať okrem spôsobov uviazania a nosnosti aj dĺžku úväzku, materiál, z ktorého bol vyrobený, značku výrobcu, dátum výroby, číslo normy, podľa ktorej bol úväzok vyrobený a kód spätnej sledovateľnosti. Často sa používa viac úväzkov na jednom bremene pretože sa tým zabráňuje nesprávnej polohe bremena pri montáži.



Obr. 38: Polyesterový úväzok

7.2 Údržba podvesného zariadenia

7.2.1 Predletová kontrola

Podvesná súprava sa kontroluje pred každým letovým dňom s bremenom. Túto kontrolu vykonáva technik vrtuľníka, ktorý taktiež vytvorí požadovanú dĺžku lana.

Technik skontroluje nákladný hák upevnený k vrtuľníku a jeho funkčnosť sa preverí mechanickou skúškou. Skúška spočíva v otvorení háku ovládacou rúčkou a záložným tlačidlom obr. 26, obr. 27. Funkčnosť elektrického otvárania sa preverí stlačením tlačidiel na kolektívnom riadení obr. 28 a ovládacím spínačom obr. 29. Taktiež sa skontroluje uchytenie háku o silové body a jeho stav.

Prehliadka pokračuje vizuálnou kontrolou lana. Kontroluje sa na pretrhnutie, rozstrapkanie prameňov lana, poškodenie srdcoviek lana, elektrická kabeláž a prípadná korózia. Na strmeňoch sa kontroluje prítomnosť zaistenia

V prípade použitia elektrického nákladného háku sa prehliadka skladá z následných bodov:

1. Kontrola uchytenia k lanu (lano sa zapne do háku a potiahne, hák sa nesmie otvoriť)
2. Kontrola elektrických káblov a zásuviek na mechanické poškodenie
3. Kontrola funkčnosti elektrického otvorenia
4. Kontrola funkčnosti manuálneho otvorenia
5. Kontrola zaistenia čapu, poškodenia (čap spája lano s elektricky ovládateľným nákladným hákom)
6. Kontrola mechanického zámku
7. Kontrola ochrannej klietky háku (kontrolujú sa praskliny, uchytenie o hák a korózia)
8. Kontrola pružiny, ktorá vracia hák do zavretej polohy, kontrola uchytenia pružiny
9. Kontrola celého háku na chýbajúce komponenty
10. Kontrola tlmiča háku ak vykazuje poškodenie je nutné ho okamžite vymeniť

Oceľové a polyesterové úväzky sa kontrolujú pred tým ako sa uviažu na bremeno. V prípade polyesterových úväzkov nesmie byť poškodený ich vonkajší plášť, ich vlákna v plášti, nesmú byť kdekod'vek preseknuté a musia mať štítok.

Prehliadka dynamometra spočíva v kontrole jeho senzora, tzn. či je na svojom mieste a správne zaistený, následne sa dynamometer zaťažší a sleduje sa či zobrazuje hmotnosť na ukazovateli.

7.2.2 Dobové prehliadky

Jednotlivé časti podvesnej súpravy podliehajú pravidelným dobovým inšpekciám. Tieto prehliadky vykonávajú technici vrtuľníkov.

Nákladný hák upevnený k vrtuľníku sa kontroluje v predpísaných časových intervaloch podľa manuálu. Celková životnosť háku je 25 rokov alebo 17 000 letových hodín podľa toho, čo nastane skôr. Letová spôsobilosť háku je obmedzená generálnou opravou, ktorá nastáva ak hák dosiahne 1000 letových hodín s bremenom, 100 odopnutí s bremenom alebo 1400 odopnutí bez bremena. [10]

Dynamometer sa kontroluje 1x ročne. Prehliadka prebieha vizuálnou kontrolou senzora dynamometra, ukazovateľa, kabeláži vedenej od meracieho prvku k ukazovateľovi a kabeláži napájania. V prípade ak je dynamometer vybavený vlastnými batériami kontrola kabeláže napájania odpadá. Dynamometer je nutné taktiež 1x ročne kalibrovať u certifikovanej organizácii. [7]

Nosné laná majú certifikát a vlastnú evidenčnú kartu, do ktorej sa zaznamenávajú vykonané prehliadky. Karta ďalej obsahuje dátum zaradenia do prevádzky, nosnosť, typ lana a jeho dĺžku. Laná sa 1x ročne podrobujú nedeštruktívnej metóde kontroly. Vo väčšine prípadov je lano prehliadnuté pomocou Röntgenu v certifikovanej organizácii na tento druh skúšok. [8]

Mechanický nákladný hák sa kontroluje 1x ročne. Podlieha len vizuálnej kontrole. Tá je zameraná na poškodenie, celistvosť háku alebo prípadnú koróziu.

Elektrický nákladný hák podstupuje podľa svojho manuálu prehliadku 1x ročne. Tá sa môže vykonávať aj v necertifikovaných servisných strediskách. Stačí ak má daná organizácia k dispozícii príslušné vybavenie na preskúšanie funkčnosti. Organizácia musí byť vybavená:

- Jednosmerným 28 V a 14 A napájaním nákladného háku
- Skrinkou s konektormi a spínačom
- Zaťažovacím zariadením (služi na preverenie funkčnosti otvárania háku) [6]

Polyesterové úväzky sa kontrolujú rovnako 1x ročne. Prehliadka prebieha len vizuálne. Kontroluje sa:

- Poškodenie vonkajšieho textilného obalu
- Poškodenie vnútorného nosného zväzku. Vykonáva len hmatom pričom je zameraná na celistvosť jednotlivých zväzkov
- Prítomnosť štítku

- Iné mechanické poškodenia (preseknutie, poškodené šitie)

Polyesterové úväzky je nutné vymeniť aj v prípade výskytu deformácie vplyvom tepla alebo pôsobením agresívnej látky. [9]

8 Personál pri SMP

8.1 Letová posádka

Letovú posádku vo viacčlenných vrtuľníkoch pri SMP tvoria:

- Prvý pilot (kapitán)
- Druhý pilot
- Palubný operátor

Minimálny počet členov letovej posádky udáva letová príručka vrtuľníka. Pri SMP môže byť prevádzkovou príručkou danej spoločnosti doplnená minimálna letová posádka napr. o palubného operátora. Letovú posádku pri SMP s vrtuľníkmi s viacčlennou posádkou väčšinou tvorí kapitán, druhý pilot a palubný operátor. Každý z posádky má presne stanovenú náplň práce a jej vykonávanie. Každý člen musí byť odborne vyškolený s platnými kvalifikáciami.

Prvý pilot je zodpovedný za prípravu, vykonanie a bezpečnosť celého letu. Je zodpovedný za správne zvolenú dĺžku lana, výpočet maximálnej hmotnosti bremena v daných meteorologických a výškových podmienkach. Rozhoduje o spôsobe priblíženia a odletu s bremenom.

Druhý pilot sleduje technické parametre motorov, reduktora, palivového systému a hydraulického systému. Informuje kapitána o zmenách meteorologických podmienok ako je teplota a tlak vzduchu. Neustále sleduje vzdialenosť od prekážok a v prípade nebezpečného priblíženia okamžite varuje kapitána. Vede evidenciu o letoch tzn. zapisuje váhy bremien a počty letov.

Palubný operátor sa nachádza v špeciálnej rozhl'adni obr. 39 odkiaľ vidí na bremeno, miesto montáže a okolie. Jeho úloha je navádzať pilota na miesto pripnutia a odopnutia bremena. Taktiež je jeho úlohou aj po odopnutí bremena sledovať nezaťažené lano pretože má tendenciu sa približovať, s rastúcou rýchlosťou a súčasným klesaním, k vyrovnávaciemu rotoru a tak vzniká nebezpečenstvo stretu lana s vyrovnávajúcim rotorom. Dôvodom doplnenia posádky o palubného operátora je, že pilot na bremeno v rozmernejších vrtuľníkoch a pri použití krátkych lán nevidí.



Obr. 39: Fotografia znázorňujúca pracovné miesto palubného operátora

8.2 Pozemný personál

Pozemný personál tvoria:

- Technici vrtuľníka
- Viazачi bremien pod vrtuľníkom
- Montéri pod vrtuľníkom
- Plnič pohonných hmôt

Technici vrtuľníka sú zodpovedný za vykonávanie predletovej, medziletovej a poletovej prehliadky. Pripravujú požadovanú dĺžku lán a kontrolujú ich technický stav.

Viazачi bremien pod vrtuľníkom majú za úlohu správne uviazať, zafixovať bremeno a následne ho správne pripnúť na nosné lano vrtuľníka. Taktiež majú za úlohu kontrolovať stav nosných lán a elektricky ovládateľného nákladného háku prípadne manuálneho nákladného háku.

Montéri pod vrtuľníkom, ich úlohou je stabilizácia bremena a jeho správne uloženie. Taktiež udávajú odhadom rýchlosť o smere vetra letovej posádke.

Plnič pohonných hmôt ma za úlohu na pokyn veliteľa vrtuľníka doplniť požadované množstvo paliva. Taktiež zodpovedá za čistotu paliva a použitie správneho typu.

Pozemný a letový personál sú v nepretržitom rádiovom spojení. Počas ktorého prebieha výmena informácií o vykonávanom lete a koordinácia prác.

9 Technologický postup

Pred každou SMP je nutné vypracovať technologický postup. Tento postup vypracováva technolog spoločnosti. Úlohou technologického postupu je pripraviť plán a spôsob vykonania jednotlivých prác. To zahŕňa koordináciu, pohyb ľudí na zemi, rozdelenie zodpovednosti, a rozmiestnenie pracovníkov do pracovných skupín.

9.1 Popis

Príkladom technologického postupu je detailný popis priebehu výstavby lanovej dráhy Zverovka-Spálená dolina. Jedná sa o šesť miestnu lanovú dráhu. Je tvorená z dolnej stanice, hornej stanice a podpier lanovej dráhy. Vo väčšine prípadov je lanová dráha projektovaná tak, že k hornej a dolnej stanici je vedená prístupová cesta, ktorá umožňuje výstavbu staníc pozemnými prostriedkami tak, ako aj v tomto prípade. Podpery lanovej dráhy sú však situované v neprístupnom teréne, ktorý znemožňuje výstavbu bežnou zdvíhacou technikou a pre ich stavbu sa použil vrtuľník. Priemerná hmotnosť dielu lanovej dráhy je 2471 kg s najťažším dielom 2 890 kg, preto sa na stavbu použil vrtuľník Mi-8T s maximálnou nosnosťou 3000 kg. [25]

9.2 Charakteristika podpier

Každá podpera obr. 40 sa skladá z niekoľkých dielov, ktoré sa montujú postupne. Podpera sa skladá zo:

- Stĺpu podpery
- Nosnej platformy
- Zdvíhacej konštrukcie
- Vodiacich kladiek
- Pracovných plošín

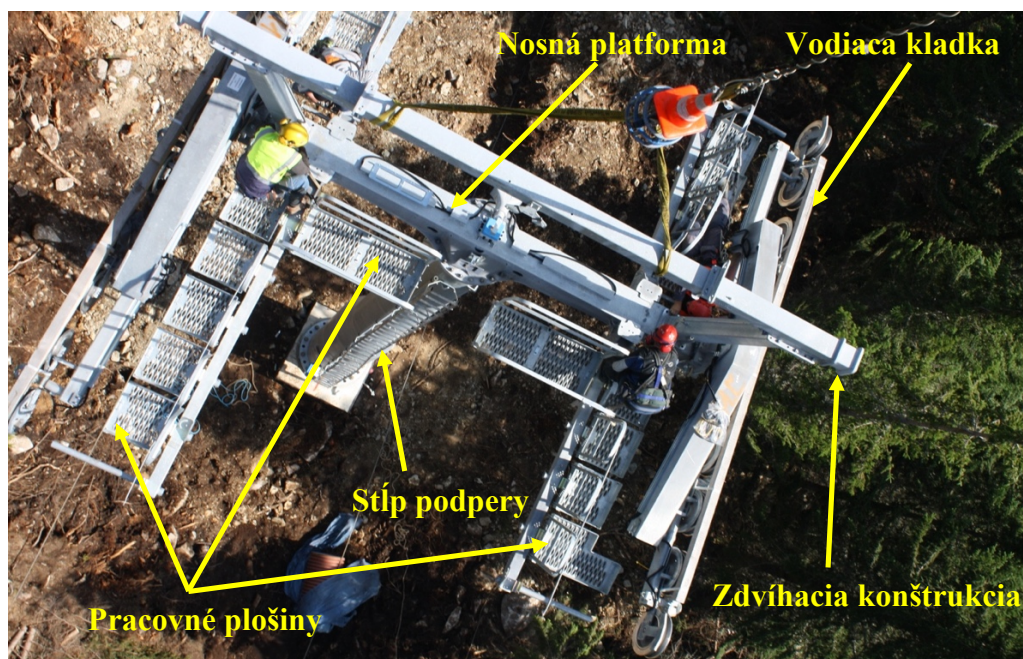
Stĺp podpery môže byť tvorený z viacerých kusov. Rozdelenie do viacerých kusov sa robí pretože hmotnosť celého stĺpu podpery by presahovala maximálnu nosnosť vrtuľníka. Stĺpy podpier majú rozličné váhy a výšky. Celková výška stĺpu sa projektuje pri navrhovaní lanovej dráhy tak, aby vytvorila optimálnu trajektóriu.

Nosná platforma slúži ako konštrukcia pre uchytenie ostatných častí lanovej dráhy. Je upevnená na hornom konci stĺpu podpery pomocou skrutiek.

Zdvíhacia konštrukcia umožňuje zdvíhať vodiace kladky a spúšťať ich na zem bez použitia vrtuľníku. Táto situácia nastáva pri údržbe alebo výmene vodiacej kladky. Zdvíhanie sa uskutočňuje jednoduchým kladkostrojom.

Vodiace kladky sa nachádzajú na okrajoch nosnej platformy. Ich úlohou je udržiavať správny smer lana. Vodiace kladky sú umiestnené v otočnom puzdre.

Pracovné plošiny sú umiestnené tak, aby umožňovali pracovníkom lanových dráh vykonávať údržbu vodiacich kladiek.



obr. 40 pohľad z rozhľadne palubného operátora na stĺp podpery

9.3 Príprava pred zahájením práce s vrtuľníkom

Pred montážou je nutné pripraviť jednotlivé diely. Príprava spočíva v uviazaní bremien príslušnými úväzkami a naviazaní pomocných konopných stabilizačných lán. Tieto prípravy prebiehajú na skládke dielov obr. 41 kde sa nachádzajú jednotlivé diely lanovej dráhy.

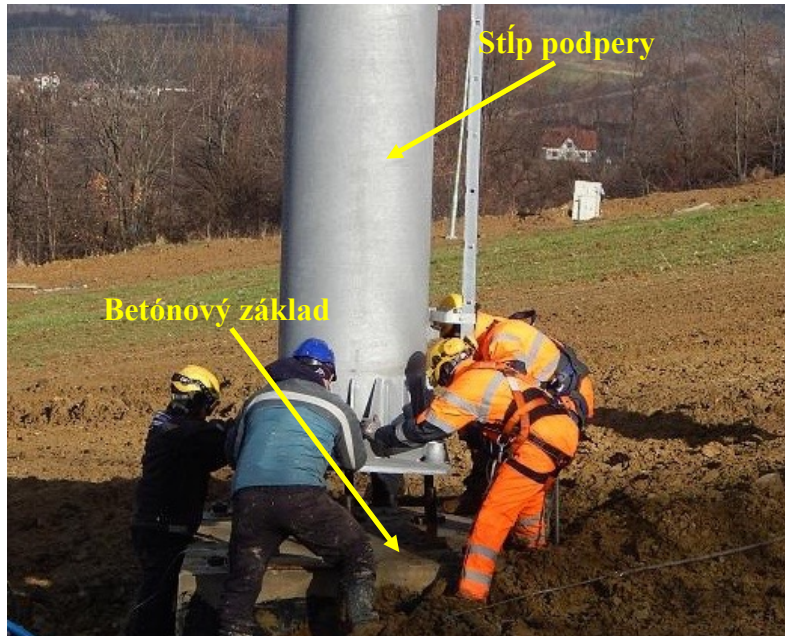
Pred zahájením samotných prác s vrtuľníkom sa montéri pod vrtuľníkom rozdelia do pracovných skupín a určia sa vedúci pracovných skupín. Tí majú na zodpovednosť komunikáciu s vrtuľníkom, dávajú pokyn na odopnutie bremena, koordinujú pohyb jednotlivých členov skupiny a vybíjajú statickú elektrinu nabitú v bremene. Jedná sa o pracovné skupiny na skládke dielov a niekoľkých skupín v teréne. Počet skupín v teréne závisí na rýchlosti presunu skupín medzi jednotlivými montážnymi miestami. Rýchlosť presunu je daná prekážkami v teréne tzn. riekou, roklinou alebo veľkým výškovým prevýšením. Čím je presun časovo náročnejší tým je nutné vytvoriť viac pracovných skupín. V prípade výstavby lanovej dráhy Zverovka-Spálená dolina boli vytvorené 3 pracovné skupiny. Dve v teréne a jedna na skládke dielov.



Obr. 41: Skládka dielov

9.4 Montáž dielov

Montáž sa začína zapnutím bremena na skládke dielov do elektricky ovládateľného nákladného háku. Následne sa diel vrtuľníkom prepraví na miesto montáže kde sú pripravený montéri pod vrtuľníkom. Montáž podpier sa začína uložením základného dielu, ktorý je uchytený skrutkami o betónový základ obr. 42



Obr. 42: Uloženie stĺpu podpery na betónový základ

Následne sa montujú ostatné diely stĺpu podpery. Stavba pokračuje montážnou nosnej platformy. Tá sa prepravuje, ak to nosnosť vrtuľníka dovoľí, aj s pracovnými plošinami. Ďalej nasledujú vodiace kladky na každú stranu nosnej platformy. Zdvíhacia konštrukcia je montovaná ako posledná. Celkovo pri výstavbe prebehlo 68 montážnych letov z toho 20 letov s podpornými stĺpmi, 12 letov s nosnou platformou, 12 letov so zdvíhacou konštrukciou a 24 letov s vodiacimi kladkami. Stavba lanovej dráhy trvala 7 letových hodín s vrtuľníkom Mi-8T.

10 Riziká pri práci s podvesným zariadením

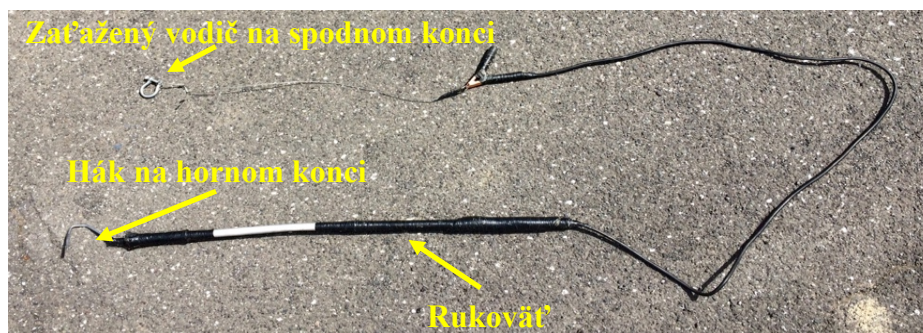
Pri práci s podvesným zariadením môžu vzniknúť nebezpečné situácie ako na zemi, kde ohrozujú pozemný personál iné osoby, tak aj vo vzduchu kde vzniká nebezpečenstvo pre letovú posádku. Medzi riziká patrí:

- Vynútenie pristátie vrtuľníka
- Downwash
- Elektrostatický výboj od podvesnej súpravy
- Pád bremena
- Stret nosného lana, bremena s prekážkou
- Stret nosného lana s vyrovnávacím rotorom

Vynútené pristátie vrtuľníka je mimoriadne nebezpečná situácia. Môže nastať po vysadení motora, poruche na hydraulickom systéme, poruche transmisie alebo pri iných technických problémoch. Zvlášť nebezpečná je táto situácia ak nastane v nehostinných oblastiach kde vrtuľník nemá na zemi priestor pre vynútené pristátie.

Downwash je veľmi nebezpečný jav ohrozujúci najmä pozemný personál. Vplyvom downwashu môže dôjsť k zhodeniu montérov pod vrtuľníkom zo stĺpov alebo iných vysoko položených miest na zem a k zraneniu. Downwash je reakciou na vzniknutý vztlak na listoch nosného rotora. Ide o silný vertikálny poryv vzduchu smerom dolu pod vrtuľník. Jeho sila sa zvyšuje so vzletovou hmotnosťou vrtuľníka, respektíve hmotnosťou bremena, pretože rastie potrebná vztlaková sila. Vzniku downwashu sa nedá zabrániť ale dá sa predchádzať jeho následkom a to najmä používaním záchranných popruhov a sedačiek pri výškových prácach.

Elektrostatický výboj od podvesnej súpravy vzniká pri dotyku pozemného personálu s bremenom, rukou alebo inou časťou tela. K nabitíu statickej elektriny dochádza pri trení vzduchu o rotujúce listy a drak vrtuľníka. Náboj sa následne prenáša na bremeno. Po zásahu elektrostatickým výbojom môže dôjsť k nekoordinovanému pohybu, dezorientácii a šoku. Výboju sa predchádza použitím vybíjacieho zariadenia obr. 43. Ide o jednoduchú pomôcku, ktorá má za úlohu uzemniť elektrostatický výboj do zeme. Na hornom konci sa nachádza hák, ktorým sa bremeno zachytí a cez zaťažný vodič sa výboj uzemní do zeme. K prvému dotyku bremena musí dôjsť vždy pomocou vybíjacieho zariadenia, ktorým sa náboj uzemní do zeme čím dovoľí chytiť bremeno ručne.



Obr. 43: Vybíjacie zariadenie

Pád bremena môže byť spôsobený poruchou vrtuľníku, núdzovým odopnutím, zlyhaním podvesnej techniky, nesprávnym uviazaním bremena napr. cez ostré hrany telesa kedy môže dôjsť k prerezaniu polyesterového úväzku. Všeobecne platí pravidlo, že žiadny pracovník by sa nemal zdržiavať priamo pod bremenom. Malo by sa k nemu pristupovať zo strán a neustále sledovať jeho pohyb.

Stret nosného lana, bremena s prekážkou zväčša končí poškodením majetku na zemi, bremena alebo podvesného zariadenia. Pri strete môže dôjsť k pretrhnutiu lana a následnému pádu bremena na zem. Stret nastáva pri nedodržaní bezpečnej výšky nad prekážkou.

Stret podvesného lana s vyrovnávacím rotorom patrí medzi najnebezpečnejšie situácie pri SMP. Dochádza k nemu ak je lano nezaťažené bremenom. Pri doprednom lete vzniká na lane obtekaním vzduchu odpor, ktorý lano zdvíha nahor k trupu a vyrovnávaciemu rotoru. Tento odpor sa zvyšuje s narastajúcou rýchlosťou a tým sa lano približuje k vyrovnávaciemu rotoru. Pri určitej rýchlosti dôjde k stretu lana s rotorom. Nápomocným faktorom k vzniku tejto situácie môže byť klesavý prúd vzduchu, ktorý zníži násobok gravitačného zaťaženia lana a tým sa lano ešte viac priblíži k rotoru. Taktiež prehnané pritiahnutie cyklického riadenia za účelom zníženia rýchlosti, ktoré spôsobí sklon chvostového nosníka dole, môže spôsobiť stret lana s vyrovnávacím rotorom. Pri jednočlenných vrtuľníkoch je veliaci pilot zodpovedný za dodržanie maximálnej rýchlosti s podvesom. Pri viacčlenných posádkach doplnených o palubného operátora je za dodržanie rýchlosti rovnako zodpovedný veliaci pilot ale palubný operátor má povinnosť po celú dobu letu s lanom sledovať toto lano a v prípade podozrenia, že sa lano približuje k rotoru okamžite varovať veliaceho pilota. Ten by mal zareagovať znížením rýchlosti. Rýchlosť by sa mala znížiť najskôr kolektívnym riadením čím dochádza k stúpaniu a lano sa vzdiali od vyrovnávajúceho rotora a následne cyklickým riadením.

Stret lana s vyrovnávajúcim rotorom sa prejaví silnými vibráciami. Tie sú spôsobené stratou vyváženia rotora. Dochádza k poškodeniu listov rotora, transmisie, v horších prípadoch môže dôjsť k zlomeniu chvostového nosníka a následne nekontrolovateľnej rotácii okolo zvislej osi a úplnej strate riaditeľnosti.

11 Požiadavky na výcvik pilotov

Každý pilot v obchodnej leteckej doprave musí byť držiteľom mnohých kvalifikácií a licencií. Pri SMP je nutné aby bol pilot držiteľom minimálne licencie CPL(H) a mal kvalifikáciu pre lety s podvesom. V praxi pilot po úspešnom ukončení výcviku CPL(H) a kvalifikácií s podvesom získava skúsenosti ako druhý pilot vo viacčlenných vrtuľníkoch. Kde je pod dohľadom prvého pilota, ktorý mu predáva skúsenosti. Je to z dôvodu mimoriadnej náročnosti pilotáže a presnosti, ktorú musí nový pilot dosiahnuť aby mohol lietať s podvesom v jednopilotných vrtuľníkoch alebo ako prvý pilot vo viacčlennej posádke. Nálet pilota schopného vykonávať samostatne SMP sa rádovo pohybuje v tisícoch letových hodín, závisí na šikovnosti pilota a to ako často túto prácu vykonáva.

11.1 Všeobecné požiadavky:

Za člena posádky môže byť ustanovená len osoba, ktorá má:

- Platný preukaz spôsobilosti CPL(H) alebo ATPL(H) vydaného leteckým úradom alebo bol týmto úradom uznaný za platný. V preukaze musia byť zapísané kvalifikácie a ich platnosť.
- Platné osvedčenie o zdravotnej spôsobilosti 1. triedy
- Platné osvedčenie rádiotelefonistu leteckej pohyblivej služby

Každý člen letovej posádky musí 1x ročne vykonať preskúšanie z leteckých predpisov, prevádzkovej príručky, letovej príručky a materiálnej časti daného typu vrtuľníka v rámci udržiavacieho výcviku tak, ako je uvedené v prevádzkovej príručke danej spoločnosti. Záznamy o teoretickom a praktickom preskúšaní musia byť uchovávané v osobnej zložke každého člena letovej posádky.

11.2 Chronológia výcviku

11.2.1 PPL

Základným výcvikom je licencia súkromného pilota PPL(H), ktorá má za úlohu vycvičiť a pripraviť pilota tak aby lietal bezpečne a účinne za podmienok VFR. Žiadateľ o zaradení do výcviku musí mať vek minimálne 16 rokov, ukončené základné vzdelanie, dostatočné vedomosti zo slovenského alebo anglického jazyka a byť držiteľom 1. alebo 2. triedy zdravotnej spôsobilosti. Pilot ktorý ukončil výcvik PPL(H) musí byť schopný vykonávať funkciu veliteľa vrtuľníka alebo druhého pilota vrtuľníka nasadeného na neobchodné lety a nie za úplatu. Absolvovanie výcviku PPL(H) je podmienka nutná pre získanie vyšších kvalifikácií. Výcvik trvá 45 letových hodín pričom je možné udeliť zápočet vo výške 10% celkového letového času ako veliteľa lietadla nie však viac ako 6 hodín z iných kategórií s výnimkou balónov. [16]

11.2.2 CPL

Nadväzujúcim výcvikovým kurzom je výcvik CPL(H). Cieľom tohto kurzu je pripraviť držiteľov preukazu PPL(H) na odbornú úroveň obchodného pilota vrtuľníkov. Po úspešnom absolvovaní výcviku sa od žiaka požaduje aby zvládal vykonávať funkciu veliaceho pilota(PIC) alebo druhého pilota na ľubovoľných vrtuľníkoch v prevádzke inej, ako je obchodná letecká

doprava, vykonávať funkciu veliaceho pilota (PIC) v obchodnej leteckej doprave na ľubovoľných jednopilotných vrtuľníkoch, vykonávať funkciu druhého pilota v leteckej obchodnej doprave. Minimálny vek pre začatie výcviku CPL(H) je 17 rokov. Požiadavky na vzdelanie a základné jazykové schopnosti sú totožné s požiadavkami PPL(H). Žiadateľ musí mať pred zahájením výcviku platnú 1. triedu zdravotnej spôsobilosti a byť držiteľom platného preukazu PPL(H). Pred zahájením výcvikového kurzu CPL(H) musí mať žiadateľ nálet 155 hodín vo funkcií pilota vrtuľníkov. [16]

11.2.3 ATPL

Kvalifikácia ATPL(H) rozširuje oprávnenia kvalifikácie CPL(H). Umožňuje vykonávať funkciu veliaceho pilota vo viacčlenných vrtuľníkoch. Druhý pilot vo viacčlenných vrtuľníkoch musí byť držiteľom minimálne licencie CPL(H) so započítanou teóriou ATPL(H). Žiadateľ o licenciu ATPL(H) musí mať celkový nálet najmenej 1000 hodín ako pilot vrtuľníkov. [16]

11.2.4 Kvalifikácia pre lety s podvesom

Výcvikovou osnovu pre lety s podvesom je nutné navrhnúť príslušnému leteckému úradu štátu, ktorý ju musí schváliť. Po schválení sa podľa nej vykonáva výcvik pre získanie. Po absolvovaní výcviku je pilotovi vystavené osvedčenie o absolvovaní špecializovaného školenia.

Cieľom výcviku pre lety s podvesom je oboznámiť pilota s prácou, správaním a použitím podvesného zariadenia na vrtuľníkoch. Hlavný dôraz je kladený na oboznámenie nebezpečných situácií, ktoré môžu nastať pri lietaní s lanom. Osnova pre kvalifikáciu letu s podvesom:

1. Lety vo vise, presune v malej výške (bez pripevneného bremena)
2. Zapnutie bremena na vonkajší podves a jeho uloženie na stanovené miesto s rôznymi dĺžkami lán
3. Lety po trati s bremenom v podvese s rôznymi dĺžkami lán a pri rozličných hmotnostiach bremena
4. Uloženie bremena v mieste s prírodnými alebo umelými prekážkami
5. Lety s použitím palubného žeriavu pri rôznej dĺžke lana žeriavu a výške visu
6. Záverečné preskúšanie

Letová doba výcviku je 5 hodín a 42 letov. [17]

11.3 Nariadenie komisie EÚ

Nariadenie komisie (EÚ) č.379/2014 z 7. apríla 2014. Toto nariadenie rieši problematiku výcviku pre lety s podvesom. Nariadenie určuje minimálny nálet pilota pre začatie výcviku pre lety s podvesom v rozličných kategóriách. Kategórie sú rozdeľované podľa dĺžky lán, typu práce a hmotnosti bremena. Celkovo je vytvorených 5 kategórií. Nariadenie bude prijaté Slovenskou republikou 21.4.2017. [15]

12 Záver

Od výroby prvého plne ovládateľného vrtuľníka VS-300 ubehlo vyše 70 rokov. Za tento relatívne krátky časový úsek, urobili konštruktéri vrtuľníkov obrovský technologický pokrok, o čom svedčí všestranné využitie týchto strojov v súčasnosti.

Vrtuľníky používané na stavebno-montážne práce sa od bežných líšia dodatočným vybavením, ktorým je podvesná súprava. Tá umožňuje vrtuľníkom zdvihnúť a premiestniť bremeno na potrebné miesto. Jej používanie, vytvára určité riziká, ktoré je nutné brať na vedomie. Početný pozemný personál, špeciálne vybavenie a vysoká cena nákupu vrtuľníka si vyberá svoju daň v podobe vysokých finančných nákladov na prevádzku vrtuľníkov pri stavebno-montážnych prácach, preto sú vrtuľníky nasadzované len v prípadoch kedy pozemnou zdvíhacou technikou nie je uloženie bremena možné. Popísaný technologický postup pri stavbe lanovej dráhy vytvára dôležitý podklad pri príprave práce. Jeho cieľom je rozdelenie zodpovednosti pracovníkov, vytvorenie pracovných skupín a stanovenie postupu montáže dielov. Kvalifikácia pilotov pracujúcich s podvesným zariadením je od bežných obohatená o výcvik s podvesným zariadením. To vytvára z týchto pilotov letový personál spôsobilý pre tento druh prác.

13 Zoznam použitých zdrojov

- [1] SVOBODA, Václav. *Vrtulníky*. Praha: Naše vojsko, 1979. Dostupné také z: <http://kramerius.mzk.cz/search/handle/uuid:861b4b90-37de-11e3-a5bb-005056827e52>
- [2] NEŠTRÁK, Dušan a Ján PILA. *Aerodynamika, konstrukce a systémy vrtulníků: studijní modul 12*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. Učební texty pro teoretickou přípravu techniků údržby letadel dle nařízení komise (ES) 2042/2003 Par. ISBN 8072044842.
- [3] BENEŠ, Ladislav. *Učebnice pro piloty vrtulníků: základy aerodynamiky, mechaniky letu a konstrukce vrtulníků*. Bratislava: Alfa, 1985.
- [4] Letová příručka vrtulníka MD-530F reg. značky OM-MDM
- [5] Letová příručka vrtulníka Mi-8T reg. značky OM-XYC
- [6] Manuál k elektrickému nákladnému háku. Model 901
- [7] Manuál k obsluhu dynamometru. Model SJV 5000
- [8] Manuál a atest o osvědčení nosného ocelového lana do prevádzky.
- [9] Manuál a atest o osvědčení polyesterových a ocelových úvazkov do prevádzky.
- [10] Manuál nákladného háku upevneného k vrtulníku. Model DG-64M
- [11] JACKSON, Robert. *Vrtulníky: civilní a vojenské vrtulníky současnosti*. Praha: Deus, 2008. ISBN 9788087087251.
- [12] PROKOP, Miloš. *Vrtulníky*. Praha: Naše vojsko, 1954. Knižnice letectví.
- [13] Prevádzková príručka TECH-MONT Helicopter company s.r.o
- [14] Prevádzková príručka leteckých prác TECH-MONT Helicopter company s.r.o
- [15] NARIADENIE EURÓPSKEJ KOMISIE (EÚ) č. 379/2014
- [16] Prevádzková príručka SK/ATO-07
- [17] Program prípravy pre výcvik a zácvičenie pre lety s podvesom. TECH-MONT Helicopter company s.r.o
- [18] FLYIN MAG. POPE, S. [online]. 2013, [cit. 2016-05-21]Dostupné z: <http://www.flyingmag.com/aircraft/helicopters/eurocopter-x3-sets-helicopter-speed-record>
- [19] QUORA. PADFIELD, R. [online]. 2015, [cit. 2016-05-21]Dostupné z: <https://www.quora.com/Whats-the-highest-altitude-an-average-helicopter-can-fly>
- [20] MOUNT EVEREST. [online]. 2013, [cit. 2016-05-21]Dostupné z: <http://www.mounteverest.net/story/FrenchEverestMysteryChoppersUtopiasummit-VIDEOMay272005.shtml>
- [21] KRET. [online]. 2015, [cit. 2016-05-21] Dostupné z: <http://kret.com/en/news/3880/>

[22] ERICKSONIC. [online]. 2016, [cit. 2016-05-21] Dostupné z: <http://ericksoninc.com/global/canada/>

[23] PILOTIINFO. OBRNDRAUF, L. [online]. 2014, [cit. 2016-05-21] Dostupné z: <http://www.pilotinfo.cz/z-kokpitu/vrtulniky/letajici-gerab-mil-mi-10>

[24] MILITARY-TODA. [online]. 2016, [cit. 2016-05-21] Dostupné z: http://www.military-today.com/helicopters/mil_mi26_halo.htm

[25] Váhový list pre výstavbu lanovej dráhy Zverovka-Spálená dolina

14 Zoznam použitých skratiek, symbolov a veličín

ATPL(H)	Air transport pilot license (Helicopter)	Licencia dopravného pilota (Vrtuľníkov)
CPL(H)	Commercial pilot license (Helicopter)	Licencia obchodného pilota (Vrtuľníkov)
GSM	Global System for Mobile Communications	Globálny systém pre mobilnú komunikáciu
PPL(H)	Private pilot license (Helicopter)	Licencia súkromného pilota (Vrtuľníkov)
NOTAR	No tail rotor	Vrtuľník bez vyrovnávajúceho rotora
SMP	Construction instalation-works	Stavebno-montážne práce
VFR	Visual flight rules	Pravidlá pre let za viditeľnosti

S	Ťah rotora
Ψ	Azimutálna poloha listu

ft	Stopa (feet)
kg	Kilogram
km/h	Kilometre za hodinu
kt	Uzol (knot)
kW	Kilowatt
m	Meter
ot/min	Otáčky za minútu
%	Počet percent

15 Zoznam použitých obrázkov a tabuliek

obr. 1 SIKORSKYARCHIVES. VINNY, D. [online]. 2013, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: http://www.sikorskyarchives.com/S-46%20_VS-300_%20VS-300A.php

obr. 2 WONDER LIST. EJAZ, K. [online]. 2013, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: <http://www.wonderslist.com/10-fastest-helicopters-in-the-world/>

obr. 3 AIRLINERS.NET. JENS, B. [online]. 2004, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: <http://www2.airliners.net/photo/BOHAG/Aerospatiale-SA-315B-Lama/0532078/L/>

obr. 4 THIS DAY IN AVIATION. [online]. 2005, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: <http://www.thisdayinaviation.com/tag/fabrice-bregier/>

obr. 5 BLUE SKY ROTOR. [online]. 2010, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: http://www.blueskyrotor.com/performance/datasheet/Mil/Homer-Mi_12

obr. 6 HELICOPTERS AXLEGEEEKS. [online]. 2016, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: <http://helicopters.axlegeeks.com/l/44/Robinson-R66>

obr. 7 AVIA-DEJAVU. WOLBRING, J. [online]. 2016, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: <http://avia-dejavu.net/photo%20N263CP.htm>

obr. 8 AIRLINERS.NET. CESSTER, P. [online]. 2010, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: <http://www.airliners.net/photo/Belgium---Politie-Police/McDonnell-Douglas-MD-520N/1761409/L/>

obr. 9 AIRPLANE PICTURES. MELU, M. [online]. 2006, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: <http://cdn.airplane-pictures.net/images/uploaded-images/2008/11/8/28419.jpg>

obr. 10 AIRLINERS.NET. [online]. 2002, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: <http://www.airliners.net/photo/Heli-Air-Zagel/Kaman-K-1200-K-Max/0363288/L/>

obr. 11 CAVOK. [online]. 2014, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: <http://www.cavok.com.br/blog/wp-content/uploads/2014/10/chinook-wallpapers-5.jpg>

obr. 12 AIRLINERS.NET. FRIKKE, E. [online]. 2001, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: [http://sss.airliners.net/photo/Aeroflot/Mil-V-12-\(Mi-12\)/0197391/L/](http://sss.airliners.net/photo/Aeroflot/Mil-V-12-(Mi-12)/0197391/L/)

obr. 13 BENEŠ, Ladislav. *Učebnice pro piloty vrtulníků: základy aerodynamiky, mechaniky letu a konstrukce vrtulníků*. Bratislava: Alfa, 1985.

obr. 14 BENEŠ, Ladislav. *Učebnice pro piloty vrtulníků: základy aerodynamiky, mechaniky letu a konstrukce vrtulníků*. Bratislava: Alfa, 1985.

obr. 15 PHOTOBUCKET. [online]. 2014, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: http://s118.photobucket.com/user/ichris7/media/ScreenShot2014-10-20at125801PM_zps563d9c3c.png.html

obr. 16 BENEŠ, Ladislav. *Učebnice pro piloty vrtulníků: základy aerodynamiky, mechaniky letu a konstrukce vrtulníků*. Bratislava: Alfa, 1985.

obr. 17 UPLOAD.WIKIMEDIA. [online]. 2016, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Helicopter_rotor

obr. 18 HELIS.COM. [online]. 2016, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: http://www.helis.com/database/news/s-64e_amazon/

obr. 19 EN.WIKIPEDIA. [online]. 2016, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Mil_Mi-10#/media/File:Mil_Mi-10_CCCP-04102_Mick_LBG_19.06.65_edited-1.jpg

obr. 20 PILOT.INFO. Obendrauf, L. [online]. 2014, [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: <http://www.pilotinfo.cz/z-kokpitu/vrtulniky/letajici-jerab-mil-mi-10>

obr. 21 HELICOMONTAGE. [online]. [cit. 2016-05-21]

Dostupné z: <http://helicomontagne.fr/reportage/MilMi26/images/05.jpg>

obr. 22 až obr. 43 Vlastná fotografie

tab.1 Vlastná tabuľka

tab.2 Vlastná tabuľka