

Návrh jednomístného vírníku

Jan Kovalovský

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta multimediálních komunikací

Ateliér Průmyslový design

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **BcA. Jan Kovalovský**
Osobní číslo: **K13324**
Studijní program: **N8206 Výtvarná umění**
Studijní obor: **Multimédia a design – Průmyslový design**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh jednomístného vírníku**

Zásady pro vypracování:

1. Historie vírníkového letectví.
2. Analýza současného trhu.
3. Stanovení ergonomické koncepce.
4. Návrhy v kresebné formě.
5. Detailní vypracování vybraného řešení.
6. Modelové řešení vybraného návrhu ve vhodném měřítku
7. Vypracování písemné doprovodné zprávy zahrnující všechny etapy návrhu a odůvodňující navržené řešení.
8. Závěr
9. Na samostatném nosiči CD-ROM odevzdejte v minimálním počtu 10 kusů obrazovou dokumentaci praktické části závěrečné práce pro využití v publikacích FMK. Formát pro bitmapové podklady: JPEG, barevný prostor RGB, rozlišení 300 dpi, 250 mm delší strana. Formáty pro vektory: AI, EPS, PDF. Loga a texty v křivkách. V samostatném textovém souboru uveďte jméno a příjmení, login do Portálu UTB, obor (ateliér), typ práce, přesný název práce v češtině a angličtině, rok obhajoby, osobní mail, osobní web, telefon. Přiložte svou osobní fotografii v tiskovém rozlišení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/umělecké dílo**

Seznam odborné literatury:

JANOVEC, Jiří, Jiří CEJP a Josef STEIDL. JANOVEC, J. a kol. Perspektivní materiály. Vyd. 3., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2008, 143 s. ISBN 978-80-01-04167-3.

BROŽ, Václav. Aerodynamika nízkých rychlostí. Vyd. 5. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 182 s. ISBN 80-010-2347-8.

MAREK, Jakub a Petr SKŘEHOT. Základy aplikované ergonomie. Vyd. 1. Praha: VÚBP, 2009, 118 s. Bezpečný podnik. ISBN 978-80-86973-58-6.

KOLESÁR, Zdeno a Petr SKŘEHOT. Kapitoly z dějin designu. vyd. 1. Praha: Vysoká škola umělecko-průmyslová, 2004, 167 s. Bezpečný podnik. ISBN 80-868-6303-4.

J. Švéda: Teorie vrtulí a vrtulníků, skripta VAAZ Brno, 1962

Vedoucí diplomové práce:

ak. soch. Ondřej Podzimek

Kabinet teoretických studií

Datum zadání diplomové práce:

2. prosince 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2015

Ve Zlíně dne 12. prosince 2014

doc. MgA. Jana Janíková, ArtD.
děkanka



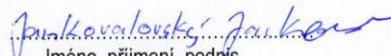
MgA. Martin Surman, ArtD.
vedoucí ateliéru

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské/diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou/diplomovou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům.

Ve Zlíně 5.5.2015


Jméno, příjmení, podpis

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47b Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem jednomístného rotorového letounu. Ve třech částech je zpracována teoretická, praktická a projektová stránka této diplomové práce. Teoretická část pojednává o charakteristikách a historii vírníků. Část praktická se zabývá průzkumem současných vírníků, kde je věnována pozornost především jejich aerodynamice, koncepci, konstrukci a jejich obecnému přínosu. Projektová část pojednává o procesu vývoje jednomístného vírníku, kde popisuje cestu k finální verzi vírníku.

Klíčová slova: vírník, aerodynamika, ergonomie, koncepce vírníků, konstrukce a materiály.

ABSTRACT

This thesis is dealing with design of one-seat rotor craft. It is divided up to three parts: theoretical, practical and project part. theoretical is about characteristic ant history of autogyros. Theoretical is about research of current autogyros, especially to their aerodynamics, conception, construction and their general benefits. Project part is about development process and describes path to the final autogyro version.

Keywords:

Autogyro, Aerodynamics, Ergonomics, Conception of autogyros, Construction and Materials.

Tímto bych rád poděkoval panu akad. soch. Ondřeji Podzimekovi, za cenné rady a čas strávený konzultacemi. Již zesnulému panu prof. akad. soch. Pavlu Škarkovi, jenž byl vedoucím Ateliéru Průmyslový Design na plný úvazek. Nirváně autogyro a panu Březinovi, za podrobné seznámení s vírníky, které nezůstalo jen u teorie. Panu doc. Rozehnalovi za konzultace aerodynamiky. Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně a zejména Fakultě multimediálních komunikací za inspirativní prostředí. Především děkuji rodině za podporu.

"When once you have tasted flight,
you will forever walk the earth with your eyes turned skyward."

..

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 HISTORIE VÍRNÍKOVÉHO LETECTVÍ	11
1.1 JUAN DE LA CIERVA	11
1.2 BUHL-A1	13
1.3 VÝVOJ BĚHEM DRUHÉ SVĚTOVÉ VÁLKY	13
1.3.1 Rotorový kluzák	13
1.4 IGOR BENSEN	14
1.5 JUKKA TERVAMÄKI.....	15
1.6 IKENGA	15
1.7 FAIREY ROTODYNE	16
2 POPIS VÍRNÍKU	17
2.1 AUTOROTACE.....	17
2.2 VÝHODY VÍRNÍKU V POROVNÁNÍ S LETADLEM A VRTULNÍKEM.....	17
3 LETECKÁ ERGONOMIE	19
3.1 NÁSLEDKY NEDOSTATEČNÉ ERGONOMIE.....	19
3.2 AERODYNAMIKA	20
II PRAKTICKÁ ČÁST	22
4 SOUČASNÉ VÍRNÍKY	23
4.1 MAGNI AUTOGYRO	23
4.2 WINDRYDER	24
4.3 BAUER AVION	24
4.4 ARROWCOPTER.....	25
4.5 DINELLY	25
4.6 AUTOGYRO.....	26
4.7 POJÍŽDĚNÍ VÍRNÍKU	27
4.8 KONSTRUKCE VÍRNÍKU	29
4.9 MATERIÁLY	29
4.9.1 Historie	29
4.9.2 Sendvič a voština.....	30
4.9.3 Hliník.....	30
4.9.4 Oceli	30
4.9.5 Titan	31
4.9.6 Kompozity.....	31
4.9.6.1 Matrice	31
4.9.6.2 Polyesterová pryskyřice	31
4.9.6.3 Epoxidová pryskyřice	32
4.9.6.4 Výztuž.....	32
4.9.6.5 Sklé vlákno.....	32
4.9.6.6 Uhlíkové vlákno.....	32
4.9.6.7 Aramidové vlákno.....	32
4.9.6.8 Proces výroby kompozitů	32

4.10	3D TISK	33
4.10.1.1	FDM	33
4.10.1.2	SLA	33
4.10.1.3	SLS	33
5	PROJEKTOVÁ ČÁST.....	35
5.1	PŘEDSTAVENÍ PROJEKTU	35
5.2	INSPIRAČNÍ ZDROJE	35
5.2.1	Ettore Bugatti a Louis de Monge / Bugatti Model 100	35
5.2.2	Burt Rutan	37
5.2.3	Luigi Colani	37
5.2.4	Daniel Simon.....	38
5.3	HLEDÁNÍ PROBLÉMŮ	38
5.3.1	Řešení problémů a protiargumentace	39
5.4	INTERIÉR	39
5.4.1	Ergonomická studie.....	40
5.5	ESTETIKA V LETECTVÍ	41
6	NÁVRH JEDNOMÍSTNÉHO VÍRNÍKU	42
6.1	CIERVA CX	42
6.2	KRESEBNÉ NÁVRHY.....	43
6.3	3D MODELOVÁNÍ.....	46
	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	53
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55

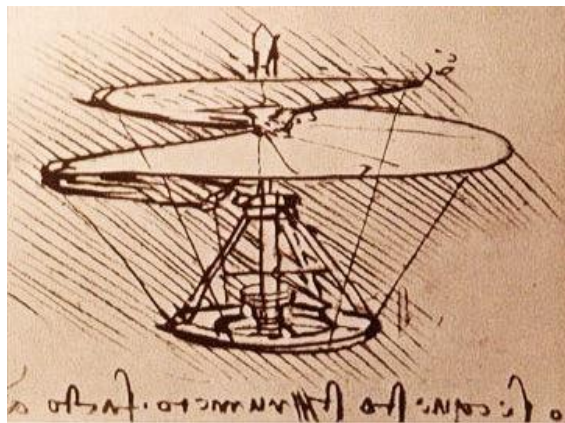
ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem vírníku, což je komplexní téma zahrnující široké znalosti letectví. Oporou v tomto oboru mi byla firma Nirvána Autogyro, která je největší firmou zabývající se vírníkovým letectvím v ČR. Mým cílem je návrh vírníku, který by svou koncepcí posunul vírníkové letectví alespoň o malý krok dále. Vedoucím mé práce je pan akad. soch. Podzimek, se kterým sdílím nadšení pro letectví.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE VÍRNÍKOVÉHO LETECTVÍ

Princip létajícího stroje těžšího než vzduch poháněného horizontálně rotujícími nosnými plochami sahá až do starověké Číny. Odtud pochází bambusová hračka. Jejím roztočením v dlaních produkovala vztlak a hračka létala. V roce 1493 se do konstrukce prvního verti-kálně létajícího stroje pustil i Leonardo Da Vinci – jeho „helikoptéra“ měla fungovat na podobném principu jako vrtule poháněná gumičkou, ovšem rotace měla být zabezpečena výhradně lidskou silou. [1]



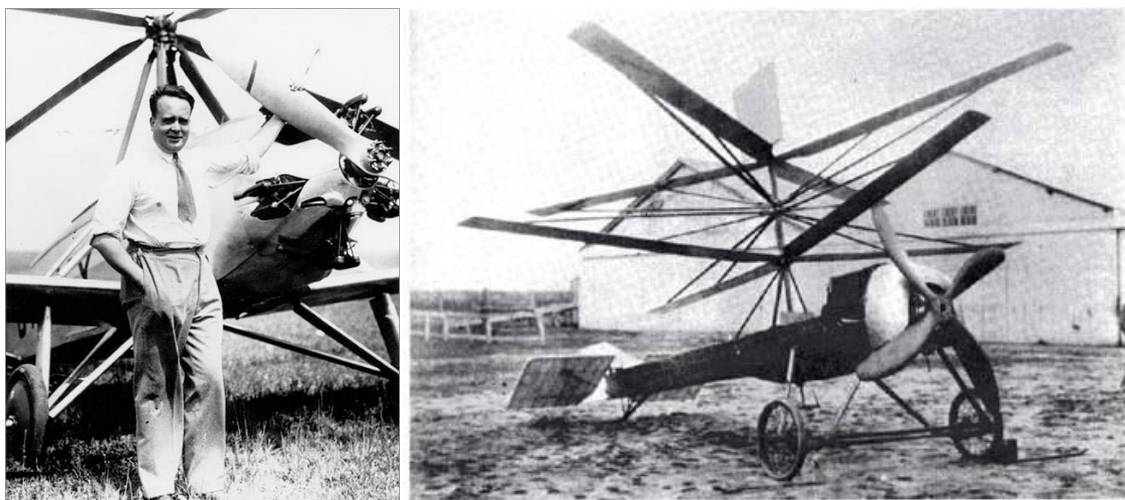
Obr. 1 Helikoptéra Leonarda Da Vinci

1.1 Juan de la Cierva

Juan de la Cierva pochází z bohaté Murciské rodiny. Už jako kluk experimentoval s kluzáky. Vystudoval Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (v překladu Inženýr silnic, kanálů a přístavů), kde se věnoval teoriím aerodynamiky a pokročilé matematice. Po studiu se zúčastnil soutěže o návrh univerzálního vojenského letadla pro španělskou vládu, které by zastalo roli průzkumného, stíhacího i bombardovacího letounu. Toto letadlo mělo dobré letové vlastnosti i v malých rychlostech. Při testování však došlo k nehodě. Testovací pilot letěl příliš malou rychlostí, což vedlo ke ztrátě vztlaku.

Cierva věřil, že pevné křídlo není bezpečné a začal experimentovat s konstrukcemi, které by měly vztlak i při nízkých rychlostech. Věděl, že potřebuje mít křídlo, které se bude pohybovat větší rychlostí než trup letounu. Princip helikoptéry byl již známý, vyžadoval však rotor hnaný silným motorem (první plně funkční vrtulník postavili Breguet-Dorand až v roce 1935). K principu autorotace Ciervu inspiroval větrník. Po dosažení počáteční rychlosti se rotor dále roztáčí díky dopřednému pohybu letounu. První prototyp postavil na základě starého letounu. Opatřil ho po vzoru dvouplošníků dvěma rotory. Tento prototyp vykazoval

vztlak, ale nečekaně se začal naklánět. Cierva tento problém vyřešil volným ukotvením rotoru a přišel tak na princip autorotace (autogiro). Po dalších prototypech postavil C.6 ,které v roce 1923 vzneslo nad Madridem. Od tohoto dne se Ciervovy hrnuli nabídky na spolupráci. V anglii založil spolu se skotským průmyslníkem Jamesem G. Weirem Cierva autogiro company. Zdokonaloval dále systém řízení, na který navázali helikoptéry. [2]



Obr. 2 Vírnik C.3

Prvním vírníkem v Československu byl typ Avro 671 (Cierva) C.30A, který zakoupila v roce 1934 firma Baťa ze Zlína. Kromě předváděcích letů byl až do roku 1937 používán i pro přepravu firemní pošty. Tentýž typ zakoupilo v roce 1935 i Ministerstvo národní obrany. [3]



Obr. 3 Avro 671 společnosti Baťa

1.2 Buhl-A1

Tento vírník byl navržen pro pozorovací účely, proto je jeho konstrukce přizpůsobena posádce. Buhl-A1 je první z koncepce vírníku s tlačnou vrtulí. Pilot seděl za kameramanem, který tak měl nerušený výhled. Tento vírník navrhl francouz Etienne Dormoy. Hvězdicový motor o výkonu 165 koní poskytoval široký rozsah rychlostí. [4]



Obr. 4 Buhl-A1

1.3 Vývoj během druhé světové války

Během tohoto období se vývoj vírníků nijak razantně nevyvíjí. Veškeré vyrobené vírníky během války vychází z koncepce Ciervova stroje C.30. Nicméně, můžeme vystopovat pár návrhů, které se snaží stavět na vlastním základě a vývoj posouvají malými krůčky směrem dopředu. Mezi nejvýznamnější zemi, kde se vyvíjeli vírníky, patří během druhé světové války Německo.

1.3.1 Rotorový kluzák

Rotorový kluzák byl v Německu již před druhou světovou válkou hojně využíván v aeroklubech. Během války byly oblíbené především jako pozorovací kluzáky ponorek. Po vynoření se rotorový kluzák Focke-Achgelis Fa 330 snadno postavil a poté co pilot spatřil cíl nebo nepřítele, odpojil se z tažného lana a doplachtil na hladinu. Dohled z tohoto kluzáku byl až 200 km. [5]



Obr. 5 Focke-Achgelis Fa 330

1.4 Igor Bensen

Tento konstruktér ruského původu začal v 50. letech navrhovat rotorové kluzáky. Pro velkou oblibu těchto strojů začal Bensen poskytovat plány pro stavbu a zanedlouho vznikla početná skupina pilotů vírníků. Vyvinul ultra lehký vírník, který vycházel z rotorového kluzáku. Tento vírník se dodnes staví a létá v různých podobách po celém světě. Vznikly tak pozorovací verze pro policii, zemědělské práškovací ale i vírník s proudovými motory na koncích křídel pro americkou armádu. Tento ultralight měl sloužit jako únikový prostředek z nepřátelského území. Měl při velmi malé váze výkon, který by uzvedl váhu čtyř cestujících. [6]



Obr. 6 Bensen B-8

1.5 Jukka Tervamäki

Fin, který postavil vírník na základech Igora Bensea. Po neúspěchu s prvním vírníkem vzniká verze ATE-3, pro který vyvine první kompozitní listy rotoru pro vírník a pracuje na odstranění jednoho z největších problémů vírníků. Vypracovává rozsáhlou studii stability vírníku s horizontálním stabilizátorem. Laminát použije i pro aerodynamické krytování tento materiál tak začíná nabývat na významu ve výrobě vírníků. Model ATE-3 je již plnohodnotný dopravní prostředek, který má kvalitně zpracovanou ergonomii. Po zalétání a vyladění chyb se tento vírník začne stavět a prodávat jako nový model JT-5 autogyro. Tento model se stal vůbec nejoblíbenějším typem v 70. letech. JT-5 se dobře prodával po celém světě. V roce 1975 Jukka Tervamäki končí s výrobou vírníků a prodává firmu do Itálie Vittoru Magnimu. [7]



Obr. 7 Jt-5

1.6 Ikenga

David Gittens navrhl vírník Ikenga, který vyniká krátkým vzletem i přistáním na neupraveném povrchu. Hodí se proto na dopravu do vzdálených afrických oblastí. Unikátní konstrukce s tažnou vrtulí je při letu stabilnější, než současné vírníky bensenovského typu. Posed pilota je podobný jako u motorky. [8]



Obr. 8 Ikenga

1.7 Fairey Rotodyne

Tento 15 tun vážící hybrid letadla-vírníku-helikoptéry se dá označit jako největší ze všech vírníků. Fairey Rotodyne byl vyvinut v 50. letech v Británii. Konce listů jeho rotoru byly opatřeny malými proudovými motory, které mu umožňovaly svislý vzlet i přistání. Během cestovní fáze letu fungoval jeho rotor v autorotačním modu. Dva turbohřídelové motory pak dodávaly dostatečný výkon, díky kterému pokořil rychlostní rekord 307km/h mezi rotorovými letadly. Vývoj tohoto stroje zůstal u jediného vyrobeného kusu z důvodu vysoké hlučnosti ve fázi letu, kdy byly zapojeny proudové motory. [9]



Obr. 9 Fairey Rotodyne

2 POPIS VÍRNÍKU

Vírník je rotorové letadlo. Na rozdíl od letadla s pevnými křídly vztlak vzniká díky rotujícímu křídlu a podobá se tak více helikoptěře, nemá však motorem hnaný rotor. Rotor se roztáčí díky aerodynamickým silám, které se nazývají autorotace. Tah obstarává podobně jako u letadla konvenční zážehový motor.

2.1 Autorotace

Co způsobuje roztáčení rotoru? Jednoduché vysvětlení je v proudění vzduchu mezi rotorovými listy, které se roztácejí podobně jako padající semínko topolu. Toto semínko padá pomaleji díky rychle rotujícímu křídlu, které vytváří větší vztlak. [10]

2.2 Výhody vírníku v porovnání s letadlem a vrtulníkem

Vírník má v porovnání s letadlem dvě velké výhody. Ve velikosti vzletové dráhy a v možnosti velmi pomalého letu. Dnešním vírníkům stačí pro vzlet méně než 100metrů a některé vírníky disponují předrotací, která jim umožňuje téměř kolmý vzlet. Přistát lze již na deseti metrech a to bez složitého přiblížování na dráhu. Letadla potřebují dráhu dlouhou delší než 250metrů a to pro vzlet i přistání. Z těchto důvodů se vírníky začaly používat pro přepravu pošty již ve 30 letech.

Další velkou výhodou je rozsah rychlostí a stabilita od 30km/h do 180km/h a to i v ostrých úhlech, což je dáno vyšší relativní rychlostí rotujícího křídla k trupu. Letadlo se v nízkých rychlostech zvyšuje náklon kvůli zvýšení vztlaku. V určitém bodě, kdy je úhel příliš ostrý dojde ke zpomalení na pádovou rychlost. Křídla přestanou generovat vztlak a letadlo začne padat do vývrtky. Vírník je díky gyroskopickému efektu odolný vůči bočnímu větru a turbulentnímu počasí, což je problém zejména u menších letadel. Letadlo může dosáhnout záporného G a díky menšímu odporu vzduchu má výhodu ve větší max. rychlosti a menší spotřebě o cca. 20%. Je proto vhodnější pro cestování na větší vzdálenosti.

Jednou z největších výhod vírníku v porovnání s helikoptérou je jeho jednoduchost, rychlost a váha. Vrtulník potřebuje komplexní ovládání rotoru, který vytváří krom vztlaku i tah. Listy rotoru vrtulníku proto musí být vždy ve specifickém úhlu, který umožňuje kontrolovaný let. Některé pokročilé vírníky tento systém využívají také, jedná se však o větší stroje. Pohon rotoru vrtulníku vyžaduje silný motor a převodové ústrojí, které významně zvyšují váhu. Je proto i méně náročný na údržbu. Systémy předrotace vírníku (i skokový systém) jsou daleko

jednodušší a lehčí. Díky tomu, že rotor vírníku generuje vztlak, dokáže létat rychleji než vrtulník. Největší výhodou vrtulníku je jeho schopnost se vznášet na místě, což je důležitá vlastnost pro využití vrtulníku v záchranářství údržbě energetických sítí, nebo pozorování.

Bezpečnost je jednou z nejdůležitějších výhod v porovnání s letadly a helikoptéry a to i při výpadku motoru. Pokud pilotovi vírníku selže motor, může „prudce“ zastavit dopředný pohyb a díky autorotaci dosedne na zem padákovou rychlostí. Když se tato situace nastane v letadle, pilot se snaží doplachtit na zem, přičemž potřebuje dostatek místa pro přistání. Pokud selže zkušenému pilotovi motor ve vrtulníku a je v dostatečné výšce tak se snaží dostat do autorotace. Vrtulník však pro autorotaci není přímo konstruován a má proto v tomto režimu horší charakteristiky. Pokud se pohybuje v zóně mrtvého muže (malá rychlost a výška), je jen malá šance na bezpečné přistání. Případné technické závady nebo pilotní chyby nemají zpravidla tak vážné následky jako při nehodách vrtulníků. [11]

3 LETECKÁ ERGONOMIE

Přetížení rozhodně není běžnou součástí našeho života a běžný člověk se s ním setká minimálně. Žijeme v prostředí na které působí zemská gravitace o gravitačním zrychlení 1 g, a tak je i tělo přizpůsobeno pro krátkodobé přetížení do 1 sekundy například při doskoku. Ve vírníku je možné zažít déle trvajících přetížení s vyššími násobky například při akrobacii, případně během úmyslného trápení spolucestujících.

Lineární zrychlení vzniká změnou rychlosti letadla bez změny směru jeho pohybu. V letecké medicíně není lineární zrychlení oblíbené, protože může vyvolat letové iluze. Radiální zrychlení je způsobeno změnou směru pohybu beze změny rychlosti pohybu, vzniká centrifugální síla. Pro účinek přetížení je rozhodující směr jeho působení. Nejlépe snesitelné je přetížení boční $\pm G_y$ od jednoho ramene k druhému. Přetížení předozadní $+G_x$ od čela dozadu za záda působí na hrudník, kdy proti setrvačné síle nelze roztáhnout hrudník a nadechnout se. Mnohem hůře se snáší přetížení záporné $-G_z$ od nohou směrem hlavě. Pocit plnosti a tlaku v hlavě se stupňuje až v nesnesitelnou bolest už při $-2G_z$. K tomu se stupňuje nesnesitelný tlak za očima při $-3 G_z$, krvácení do spojivek. Naprostá zmatenost až bezvědomí se objeví při přetížení -4 až $-5 G_z$, trvá-li 6 sekund.

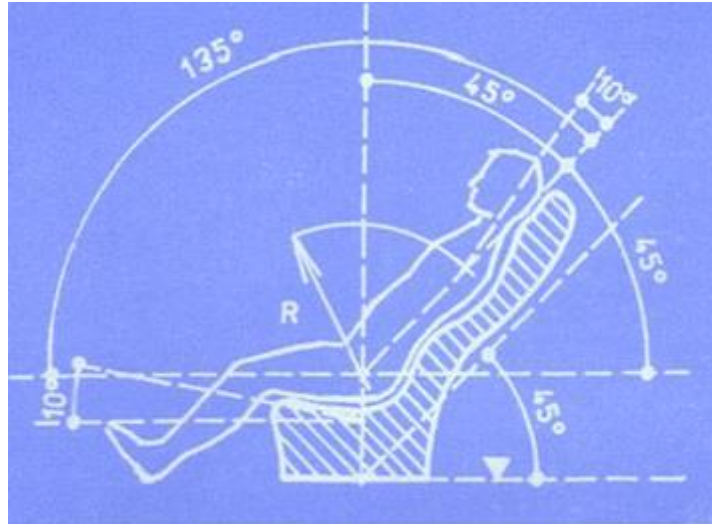
Možnosti obrany vůči přetížení $+G_z$:

Vyloučení přehřátí, dehydratace, alkoholu, letání s prázdným žaludkem, hyperventilaci, hypoxii, únavu a létání při nemoci. Použití svalových napínacích manévrů. Dde o zatnutí svalů dolních končetin a břišních svalů tak, aby vypuzovaly krev směrem nahoru k hlavě.

3.1 Následky nedostatečné ergonomie

Téměř 87,5 % vyšetřovaných pilotů vrtulníků, kteří měli nalétáno aspoň 500 hodin, trpělo bolestmi zad při létání. U většiny z nich se projevila v dolní části páteře, u některých se vyskytly bolesti v šíji. Bolesti začínaly přibližně po 300 hodinách intenzivního létání. Existují dva základní faktory, které podporují bolesti v zádech. Jedním z nich je pozice pilota a druhým vibrace vírníku za letu. Největší intenzita vibrací se vyskytuje při vzletu a přistání. Vibrace v rozsahu 3 až 12 Hz vytvářejí rotorové listy. Tolerance lidského těla na vibrace je v rozsahu 4 až 8 Hz v důsledku zesílení vibrace přirozenou rezonancí lidského těla. Základním problémem je izolace vibrací mezi rotorem a trupem vírníku a to především dvoulistých

rotorů s nízkou frekvencí. Deformacím páteře se dá předejít izolací vibrací a návrhem opěradla sedadla, které by odpovídalo obrysu páteře v její optimální poloze. Polštářované tvarované sedadlo by mělo mít takový tvar, aby umožňovalo oporu i pro stehna pilota. [12]



Obr. 10 Optimální poloha pilota vrtulníku

3.2 Aerodynamika

Zkoumá silové působení na těleso, které je obtékáno proudem vzduchu. Při obtékání těles proudem vzduchu se na jeho jednotlivých površích více či méně tento vzduch stlačuje a tím se vytváří nerovnoměrné tlakové pole.

Typy proudění vzduchu rozlišujeme na:

laminární (ustálené) – proudnice jsou zhruba rovnoběžné (jejich dráhy se nekříží), částice se posouvají, ale nerotují

turbulentní (vířivé) – proudnice se vlivem prostředí roztácejí a následně se začínají křížit

vírové proudění - krouživý pohyb tekutiny okolo určité křivky, která tvoří jeho osu. Směrem k ose víru dochází zpočátku k růstu rychlosti a poklesu tlaku. V blízkosti osy víru (vírového jádra) dochází vlivem vazkosti (vnitřního tření) k poklesu rychlosti, která je v ose víru nulová.

Aerodynamický tvar je tvar, který v maximálně možné míře zachovává laminární proudění plynu nebo kapaliny kolem sebe, při kterém je odpor prostředí mnohem menší než při turbulentním proudění. [13]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 SOUČASNÉ VÍRNÍKY

V posledních patnácti letech se vyrobilo množství vírníků od různých výrobců. V této kapitole bude představeno několik nejvýznamnějších výrobců vírníků.

4.1 Magni autogyro

Magni autogyro je italská rodinná firma s produkcí okolo 100 kusů vírníků ročně. Tyto vírníky jsou na dobré úrovni v technologii, kvalitě i ceně. Hlavní předností firmy Magni autogyro je těžký rotor vlastní konstrukce, který vyniká dobrou setrvačností. M14 je jednomístný vírník s nouzovým sedadlem, který disponuje velkým výkonem. Díky klasické koncepci spolu s jednoduchou konstrukcí je tento vírník spolehlivý a poměrně dostupný.



Obr. 11 Magni autogyro M14



Obr. 12 Magni autogyro M24 Orion

M24 Orion je nejstarší uzavřený dvojmístný vírník, kde pilot a pasažér sedí vedle sebe. Je to rovněž první vírník, který byl schválen Úřadem pro civilní letectví ve Velké Británii dle nejpřísnějšího britského standartu BCAR Section T pro vírníky. [14]

4.2 WindRyder

Tento jednomístný vírník z roku 1985 si prošel vývojem od konstrukce s páteřovým rámem až po kompozitní monocoque. Lehký motor Rotax o výkonu 65 koní a především do detailu dotažená aerodynamika (kromě výfuku, který nejspíše musel být ofukován) propůjčují tomuto vírníku výborné dynamické vlastnosti. I přes stáří tohoto vírníku se jedná o jeden z vizuálně nejzajímavějších. [15]



Obr. 13 Jim McCutchen, WindRyder

4.3 Bauer Avion

Bauer Avion je tuzemská firma, která se především zabývá vývojem motorových rogal a jejich podvozků. Od roku 1996 se tato firma zabývá vývojem ultralehkých a motorových vírníků, které osazovala motory Subaru. Dvojmístný vírník BAD 12 se vyrábí od roku 2000 a je vhodný i do leteckých škol. Vírník má tandemové uspořádání sedadel. Rám vírníku je vyroben z hliníkových profilů a skořepina kabiny s ocasioní plochami z kompozitů. [16]



Obr. 14 Bauer Avion, BAD 12

4.4 ArrowCopter

ArrowCopter AC20 je vírník německé produkce s propracovanou aerodynamikou, který působí vyspělým dojmem. Trup je tvořen kompozitním monocoquem, kompozitní je také rotor vlastní produkce. Zadní náprava je zvětšena do tvaru křídla, které pomáhá při přistání vírníku zesílením přízemního aerodynamického efektu. I přes spoustu vylepšení je tento vírník těžší, než konkurence. Proto má i přes silný motor horší charakteristiky letu. [17]



Obr. 15 ArrowCopter AC20

4.5 DiNelly

DiNelly eXoGyro je další vírník německé produkce. Vyniká svou velikostí a zavazadlovým prostorem. Tento vírník pojme pět osob, nebo dvě osoby s nákladem (zavazadly). V nabídce

má různé kombinace motorů, mezi kterými je i místo jednoho motoru řešení s dvěma malými. Zajímavá je motýlková stabilizační plocha, která má výhodu ve své efektivitě. V historii vírníků způsobila malá stabilizační plocha nejvíce nehod a z tohoto důvodu bych motýlkový stabilizátor při nejmenším zvětšil. Tento vírník je stále ve vývoji. [18]



Obr. 16 DiNelly eXoGyro.

4.6 Autogyro

Autogyro je největším světovým výrobcem vírníků, má už vyrobeno téměř 2000 kusů vírníků ve třech modelech. S vlastníkem firmy panem Otmarem Birknerem jsem měl možnost konzultovat první návrhy.

Dvoumístný vírník MTOsport, kterého se od roku 2008 vyrobilo se již více než 1400 kusů. Otevřená kabina poskytuje bezprostřední zážitek z letu. MTO je robustní vírník, který snese i méně šetrné přistání. Je proto oblíbený ve verzi pro letecký zácvik.



Obr. 17 MTOsport

Cavalon je dvoumístný vírník z produkce společnosti AutoGyro se sedadly uspořádanými vedle sebe. Uspořádání sedadel přináší pilotovi i pasažérovi jedinečný komfort, možnost bezprostřední komunikace. Zvětšenou kapacitu nádrží pro delší dolet, vylepšenou ergonomií a snadnou nastavitelnost sedadel a pedálů.



Obr. 18 Cavalon

Dvoumístný vírník Calidus se má uzavíratelnou kabinu poskytující cestujícím maximální komfort, a to i v chladnějším počasí. Monocoque konstrukce ze skelných a uhlíkových vláken dodává Calidusu dostatečnou tuhost. Aerodynamický profil trupu zaručuje skvělé letové výkony. [19]



Obr. 19 calidus

4.7 Pojždění vírníku

Systém WheelTug je koncept pozemního provozu letadel. Tento elektrický pohonný systém využívá elektrické motory, napájené APU (auxiliary power unit), které jsou integrovány do kol předového podvozku letadla a zajistí plnou pohyblivost na zemi bez použití hlavních

motorů letadla či tahačů pro provoz na pojezdových drahách. Zabudovaný elektromotor tak umožňuje pojíždění s vypnutými hlavními motory. Výsledné snížení spotřeby paliva a snížení opotřebení motorů přinesou úspory a snížení emisí.



Obr. 20 WheelTug

Možnost bezhlučné jízdy po komunikacích je užitečná i v případě, že je vírník garážován pár kilometrů od vzletové plochy, např. v městské periferii. Tato vzdálenost je krátká na to, aby byl vírník převážen na tažném vozíku, ale příliš dlouhá na tlačení. Pojezd by byl díky tlačné vrtuli velmi hlučný a vzhledem k pohybu v obydlené části města i nebezpečný. Další příklad užitečnosti elektromotoru v předním kole vírníku je pohyb po nouzovém přistání. V případě, že pilot letí dlouhou trasu, se i přes plánování zastávek pro čerpání paliva může stát, že díky nepříznivému větru rapidně stoupne spotřeba paliva. Nezbyvá pak než nouzově přistát v bezpečné vzdálenosti od benzínky (většinou na odlehlém poli).

Některé koncepty zacházejí dále a nabízejí plnohodnotnou náhradu za silniční dopravní prostředek. Vzniká tak hybrid mezi létajícím strojem a vozidlem, který díky spoustě kompromisů ztrácí na výkonnosti. Tento koncept není lehké zkonstruovat tak, aby byl dostatečně lehký a aerodynamický a zároveň se svou velikostí vešel na běžnou silnici. Složitost této konstrukce prodlužuje přípravu k letu a následnou přípravu pro jízdu na silnici. Nejlépe tento složitý úkol splnil hybrid mezi dálníkem a vírníkem nizozemská firma Pal-V. Tento Vírník je v pozemním modu dlouhý pouze 4 m, jeho dolet je ale díky vzletové hmotnosti 910 kg 400 km. Příprava i složení trvá okolo 10 min. [20]



Obr. 21 Pal-V

4.8 Konstrukce vírníku

Konstrukce stávajících vírníku vychází z tradiční koncepce s tlačnou vrtulí. Toto řešení má spoustu výhod, mezi které patří především jednoduché vyvažování trupu (dokáže tak pojmout posádku od 60-200 kg). Posádka má nerušený výhled a to i v případě požáru motoru. Páteřový ocelový rám, který odolává vibracím, bývá často navržen tak aby pojal otevřenou i uzavřenou kabinu. Většina výrobců pro pohon používá letecké motory Rotax, které mají zdvojený systém zážehu a další bezpečnostní prvky. Díky těmto opatřením jsou motory Rotax všeobecně uznávané pro svou spolehlivost. Rotor bývá zpravidla z extrudované hliníkové slitiny. Tento typ rotoru je oblíbený pro svou cenu a jednoduchost. Kompozitní rotory mají výhodu v konstrukci, která má proměnnou tuhost. Je tak možné vyrobit těžký rotor s velkou setrvačností, nebo rotor pružný a lehký. Kapotáž bývá vyrobena zpravidla z ručně kladeného skelného laminátu, který je vyztužen airezem a uhlíkovými vlákny. K zasklení kabiny se používá organické sklo (PMMA). Novým trendem v oblasti konstrukce vírníků je kompozitní monocoque (samonosná konstrukce). Vzniká tak lehčí a houževnatější kabina, která dokáže posádku vírníku lépe ochránit.

4.9 Materiály

4.9.1 Historie

Historicky se letecké konstrukce začaly vyrábět především ze smrkového, borovicového, lipového, bukového, jasanové dřevo vrtule se vyráběly z o poznání tvrdších dřev, jako mahagon, ořech, jasan a kaštan. Konstrukce těchto letadel byla příhradová a jejich povrch byl

pokryt impregnovanou tkaninou, která zpevnila konstrukci v tahovém zatížení. Časem se začala používat březová letecká překližka a balza.

4.9.2 Sendvič a voština

Sendvič je zvláštní druh laminárního kompozitu, který se skládá ze dvou vnějších vrstev překrývajících mezivrstvu (jádro) z lehkého materiálu. Vnější části jsou tenké ale tuhé, vnitřní vrstva je tlustší (lehká) méně pevná hmota. Na vnější vrstvy sendviče působí tažné a tlakové síly, zatímco distanční materiál musí udržovat velikost průřezu a čelit smykovému zatížení. Jádro sendvičových materiálu je tvořeno lehkými dřevy, polymerními pěny (PU, PVC) nebo voštinou. Název voština je odvozen z podobnosti se šestihrannou strukturou plástů včelího medu. Tento koncept vynalezl Norman de Buyne ve Velké Británii a nechal jej patentovat v roce 1938 jako hliníkovou voštinu pro sendvičové kompozity

4.9.3 Hliník

Hliník je stříbrolesklý kov s namodralým nebo našedlým nádechem s kubickou plošně středěnou mřížkou. Jedná se o vysoce tvárný materiál, je za tepla i za studena dobře tvářitelný a neprojevuje lomové chování. Další výbornou vlastností je nízká hustota a malá tep-lotní roztažnost. Je po kyslíku a křemíku nejrozšířenější prvek na Zemi, v přírodě se nachází v 250 různých minerálech. Největší procento použitých hliníkových materiálů je v leteckém a automobilovém průmyslu. I přes snahu nahrazovat hliník lehčími materiály na bázi hořčíku, uhlíku a kompozity, má stále výsadní postavení pokud se jedná o silně namáhané komponenty, jako jsou křídla a trup letadla. Je to především kvůli nízkým výrobním a údržbovým nákladům. Hliník je velice odolný proti korozi a to zejména v atmosférických podmínkách.

4.9.4 Oceli

Oceli jsou nejčastěji používanými kovovými materiály. Ocel je slitina železa, uhlíku a dalších legujících prvků, která obsahuje méně než 2,14 % uhlíku. Při obsazích uhlíku vyšších než 2,14 % se hovoří o litinách. CrMo je druh oceli, která vyniká vyšší pevností a nižší hmotností díky možnosti tenčí stěny průřezů při zachování pevnosti. Má vysokou odolnost a nižší pružnost. Chrommolybdenová ocel je vhodná pro konstrukci páteřového rámu vírníku, protože dobře odolává vibracím, je lehká a odolává korozi. Konstrukce vírníku podléhají kontrolám únavových vad, a proto nemohou být opatřeny komaxitem. Komaxit a další pružné nátěrové hmoty znemožňují kontrolu mikrotrhlin v rámu.

4.9.5 Titan

Titan je polymorfní kov bílé barvy. Vyznačuje se především nízkou měrnou hustotou, malou tepelnou roztažností a výbornou korozní odolností. Titan rovněž disponuje poměrně velkou mezí únavy. Vzhledem k dobré měrné pevnosti a korozní odolnosti, našel titan a jeho slitiny uplatnění především v leteckých a raketových konstrukcích. Jedná se o titanové součástky motoru i draku letadla, kde našel své využití jako potahový materiál křidel a ocasních ploch.

4.9.6 Kompozity

Kompozitními materiály jsou heterogenní materiály, které se skládají ze dvou a více složek. Jednotlivé složky se liší svými mechanickými, chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Charakteristickým jevem kompozitů je tzv. synergismus, kdy se sčítají vlastnosti jednotlivých složek. Vlákna kompozitního materiálu jsou samostatně křehká, výsledný kompozit je však houževnatý. To je způsobeno především zpomaleným trháním matrice a vláken. Kompozity se skládají s matrice, která drží pohromadě vlákna a výztuže, která kompositu dodává pevnost. Ideální poměr závislý na dané aplikaci, nejčastěji se však udává 20-30% matrice a 70-80% výztuž. Největší výhodou vláknového kompositu je možnost volného kladení vrstev v různých úhlech. Je tak možné navrhnout dílec, který bude mít v různých částech rozdílné mechanické vlastnosti. Kompozity s epoxidovou matricí je možné kombinovat s širokou škálou výztuží a plniv.

4.9.6.1 Matrice

Je polymerní materiál syntetického původu, který patří mezi tzv. reaktoplasty. Vytvrzuje díky chemické reakci, při které vznikají chemické vazby mezi jednotlivými molekulami. Takto zesíťovaný materiál je velmi tvrdý a chemicky i tepelně odolný.

4.9.6.2 Polyesterová pryskyřice

Polyesterová pryskyřice, je levná a rychle se vytvrzuje. Její nevýhoda je v uvolňování škodlivého styrenu během síťování a v reakci s polystyrenem (časté jádro forem), který naleptává.

4.9.6.3 Epoxidová pryskyřice

Epoxidová pryskyřice, je v letectví používaná více. Má výborné pevnostní charakteristiky. Existuje široká škála různých druhů dle doby zpracování, pevnosti, pružnosti, čirosti, UV stability a dalších vlastností.

4.9.6.4 Výztuž

Jako výztuž se nejčastěji používají vláknové materiály. Mají podobu rovingu (nekonečné vlákno), sekaného rovingu (vlákna o různých délkách od 5mm-10cm) a textilu (plátno, kepr). Používají se i práškové materiály a mikrokuličky (rozemletý uhlík, aramid, sklo).

4.9.6.5 Skelné vlákno

Skleněná textilní vlákna se začala vyrábět koncem 19. století. Rozdělují se na 3 základní druhy. E (electric), S (strenght) a C (corrosion). V letectví se nejčastěji používají S vlákna. Skelná vlákna jsou v poměru k ostatním nejlevnější a poskytují vysokou pevnost.

4.9.6.6 Uhlíkové vlákno

Uhlíkové vlákno se vyrábí z PAN (Polyakrylnitrilová vlákna), které projde procesem karbonizace, který zvýší obsah uhlíku až na 99% a uspořádá vlákno do vrstevnaté struktury. Uhlíkové vlákno má fenomenální pevnost v tahu a je proto v letectví hojně využíváno.

4.9.6.7 Aramidové vlákno

Aramidové vlákno je jedno z nejhouvernatějších, které se při výrobě laminátů používá. Jeho nejznámější aplikace je v kevlarových vestách (kevlar je obchodní název). Při návrhu kompozitů se kevlar kombinuje s uhlíkem tak, aby neporušil jeho strukturu. V některých případech došlo během namáhání karbon-kevlarového kompozitu k přeřezání uhlíkových vláken

4.9.6.8 Proces výroby kompozitů

Nejčastěji se kompozity za "mokra" kladou ručně do formy. Tento proces je nejlevnější a používá se dokonce i ve výrobě listů větrných elektráren. Vakuováním již nakladeného laminátu lze dosáhnout lepšího poměru mezi maticí a výztuží.

Vakuo-infuze je technologie výroby laminátu, ve které se výztuž naklade do formy a po následném odsátí vzduchu se výztuž "přilepí" na stěnu formy. Díky podtlaku poté přivedená matrice proteče celou formou až k vývodu odsávaného vzduchu.

Prepreg (preimpregnated fibres) je polotovar určený k výrobě vláknových kompozitů, jejichž hlavní složkou vláknová výztuž, která je předimpregnovaná pryskyřicí. Impregnační látka má lehce lepkavou konzistenci, během ukládání výztuže nesmí zesíťovat a proto se chladí na cca. -21 °C. Ruční kladení prepregu a vytvrzování v autoklávu.

4.10 3D tisk

Je proces aditivní výroby, jímž se díky 3d tiskárně vytváří trojrozměrné modely. Rozlišujeme více metod tisku jako:

4.10.1.1 FDM

Fused Deposition Modeling /ochranná značka stratasys

Model zde vzniká tavením plastu ve formě vlákna uvnitř extruzní hlavy, která taveninu vytlačuje na podložku a svým pohybem ve dvou osách postupně nanáší velmi tenkou vrstvu materiálu v rovině horizontálního průřezu budoucího výrobku

materiál: tisková struna ABS, PLA, PVA, HIPS, PC, PET

4.10.1.2 SLA

Stereolithography / Model při tomto postupu vzniká působením ultrafialového laserového paprsku na tekutou fotopolymerickou pryskyřici, která je působením laseru ztvrdována ve vrstvách

materiál: fotopolymerická pryskyřice

4.10.1.3 SLS

Selective Laser Sintering / Model zde vzniká tavením práškového, který je po tenkých vrstvách spékán v ploše řezů vysoce výkonným laserem.

materiál: plast, kov, keramika nebo sklo

5 PROJEKTOVÁ ČÁST

5.1 Představení projektu

Tento projekt se formoval na základě osobních zkušeností ve vírnících MTO Sport a Cavalon společnosti Autogyro. Teoretickými i praktickými znalostmi mne podpořil pan Březina (majitel a instruktor Nirvána autogyro).

Je obtížné navrhnout dobře jezdící kolo, pokud na kole neumíte jezdit. Jízdní kolo je příklad aplikace, kde je zapotřebí množství teoretických znalostí i zkušeností, bez kterých by to zkrátka nešlo. Praktický test, kdy se na základě krátké projížďky projeví vlastnosti rámu (torzní a boční tuhost, stabilita tlumení vibrací) tak dovoluje rychlý vývoj.

Mnohem složitější je pak návrh vírníku. Člověk začal kontrolovaně létat před 110 lety, což je z historického pohledu krátká doba. S létáním je proto důležité se seznámit na vlastní kůži. Nepočítám zde dopravní letadla, která svou dokonalostí připomínají spíše cestu vlakem. Mechanika letu v malém vírníku, který je ovlivněn termickým prouděním a poryvy větru tak dává pocit kontaktu se vzduchem. Vzhledem k malým rozměrům, vysokému výkonu a skvělé ovladatelnosti jsem jako pasažér měl pocit skutečné volnosti. Nízký přelet nad polem v letištní oblasti byl pak obzvlášť adrenalinovým zážitkem. Zde se teorie dostává do praxe a různé typy přetížení je možné daleko lépe pochopit. Vírník MTO sport je příkladem spartánského stroje, který je především bytelný a výkonný. Při bližším seznámení mě zaujalo množství malých úprav, kterými si piloti své stroje vylepšují, např. přídavné nasávání vzduchu, aerodynamické krytování podvozku a motoru, nebo individuální polepy trupu.

5.2 Inspirační zdroje

5.2.1 Ettore Bugatti a Louis de Monge / Bugatti Model 100

Model 100 byl závodní letoun, který navrhl Belgičan Louis de Monge společně s legendárním Ettore Bugattim. Díky pokročilým znalostem aerodynamiky, materiálů a motorům Bugatti měl tento letoun potenciál stát se nejrychlejším ve své době s využitím poloviny výkonu držitele rekordu. Naneštěstí v roce 1939 postup německých vojsk do Francie ukončil jeho vývoj. Model 100 vznikl z popudu Ettore Bugattiho, který vyráběl výkonné motory a viděl jejich další možné využití v letectví. Závodní letoun tak měl k dispozici dva motory o výkonu 2x 450k díky kterým měl dosahovat rychlosti 885km/h. Vývoj modelu 100 přinesl

několik patentů, mezi které patří automatický systém ovládání klapek a ovládání motýlkových ocasních ploch. Sendvič z balzy obalené do dvou vrstev tvrdého dřeva snížila hmotnost na 1400kg. Protiběžná vrtule a uložení motorů uprostřed tak kromě rychlosti přineslo i předpoklad pro dobrou obratnost a ovladatelnost. [20]



Obr. 22 Bugatti model 100

5.2.2 Burt Rutan

Legendární konstruktér letadel, který má na kontě 45 funkčních letadel a nespočet konceptů. Jeho letadla jsou vždy lehká, pevná, podivně vypadající a především mimořádně efektivní. Jedním z jeho nejslavnějších letadel je Voyager z roku 1986, který s dvojčlennou posádkou obletěl během devíti dní zeměkouli na jedno natankování. Navrhl SpaceShipOne, první soukromý raketoplán, který vynesl posádku na hranici vesmíru. [21]



Obr. 23 Burt Rutan, Proteus

5.2.3 Luigi Colani

Německý průmyslový designér, který je jedním z hlavních představitelů organického designu. Colani vystudoval aerodynamiku na Sorboně, jeho závěrečná práce se týkala moderních leteckých materiálů (vzestup skelných kompozitů). Na základě této závěrečné práce mu bylo nabídnuto místo šéfa nových materiálů u McDonnell Douglas. Luigi Colani se věnoval nejrůznějším návrhům od koupelňových rohožek, přes rychlé automobily s uni-kátním systémem difuzoru až po studie dopravních letadel a realizaci cvičných letadel pro německé letectvo. [22]



Obr. 24 Luigi Colani, studie helikoptéry

5.2.4 Daniel Simon

Konceptuální designér, který navrhuje futuristické stroje pro filmový průmysl. Vytvořil auta, letadla i vesmírné lodě pro filmy Tron Legacy, Captain America, Oblivion a Prometheus. Jeho profesionální kořeny sahají do Volkswagenu a Bugatti, kde se věnoval interiéřům. Pro film Oblivion navrhl futuristický letoun vycházející ze slavné helikoptéry Bell-47 (M*A*S*H). [23]



Obr. 25 Daniel Simon, Bubbleship

5.3 Hledání problémů

Dnešní vírníky si v leteckém světě pomalu opět dobývají pověst spolehlivého, bezpečného a především zábavného stroje.

Jedním z důvodů menší rozšířenosti vírníků je fakt, že je jejich dolet okolo 500-800km cestovní rychlostí 140km/h. Proto nejsou vhodné na dlouhé cesty tak jako letadla. Zajímavým faktem je, že díky gyroskopickému efektu poskytují cestujícím pohodlí a stabilitu jako těžší čtyřmístný hornoplošník Cessna 172 se spotřebou 35l paliva/h letu a cestovní rychlostí 180km/h. Dvoumístný vírník má spotřebu okolo 15l/h letu.

Další nevýhodou vírníků je jejich koncepce s tlačnou vrtulí a dvoulistým rotorem, díky které je ve srovnání s letadlem hlučný. Dále to jsou vibrace, které jsou této koncepci vlastní. Tyto vibrace rovněž narušují pocit z klidného letu a mohou v případě intenzivního létání způsobovat bolest zad.

Koncepce tlačné vrtule je méně efektivní, než vrtule tlačná a to o 2-5%. Navíc je tato vrtule v zákrytu za trupem vírníku v kontaktu s Karmánovými víry (většina současných vírníků nemá před vrtulí odtrhovou hranu, díky které by se vzduch odtrhával stejnoměrně) Takto

vtule dále ztrácí na účinnosti a je navíc hlučnější, než tažná vrtule pracující v lineárním proudu vzduchu.

Většina vírníků má díky aerodynamice a váze malou kabinu. Nástup do takovéto kabiny připomíná nástup do kánoe, která je díky svému podvozku půl metru nad zemí.

5.3.1 Řešení problémů a protiargumentace

+Vícelistý rotor, který by se při příjezdu k hangáru složili. Tento rotor by měl vyšší frekvenci vibrací a menší průměr.

- komplikovanější konstrukce rotorové hlavy, složitější centrování rotoru.

+Trup vírníku vycházející z čistého aerodynamického tvaru. Tvar podobný větroni.

- Koncepce s tlačnou vrtulí nedovoluje trup protáhnout až ke směrovce, která je díky ofukování vrtulí účinnější (menší)

+Tlačná vrtule pohybující se v proudu čistého vzduchu. Helikoptéra Eurocopter X-3 je pro dosažení vysoké rychlosti vybavena dvěma tažnými vrtulemi, které jsou vyvedeny do proudu nerušeného vzduchu.

- zvýšení váhy a komplikovanější konstrukce.

+Předsazení předního kola před trup vírníku zvýší náklon trupu a sníží nástupní výšku

- při nouzovém přistání např. v poli může dojít k zachycení trupu o terén.

5.4 Interiér

Interiér malého vírníku je prostor definovaný posádkou a tvarem trupu. Z ergonomického hlediska je důležité, aby posádka seděla v příjemné poloze, která bude podporovat delší výdrž a pozornost pilota. Plexisklo kabiny překrývá posádku velmi těsně a na první pohled působí trochu klaustrofobicky. Toto plexisklo má však vysokou propustnost světla a díky bohatému prosklení se tento pocit rychle ztrácí. Ve slunečných dnech je tento výhled vykoupen rychlým ohříváním interiéru. Piloti proto skoro zásadně nosí kšiltovku (v překryté kabině není pro posádku vírníku helma povinná). Vrchní část plexiskla kabiny je možné

přelepit matnou folií. Většinou toho řešení nevypadá dobře, takže se pak piloti vírníků spokojí s malým ventilačním otvorem v plexiskle. Klimatizace obdobně jako v automobilu by sice vytvářela příjemné klima, ale její energetická, prostorová i váhová náročnost pře-vyšují její přínos. Pro pilota vírníků je důležité ergonomické rozmístění ovládacích prvků v optimálním dosahu rukou a nohou. Prvky, jako Sedačka a nožní pedály se nastavují podle individuálních potřeb pilota. Posunuje se buď sedačka, nebo nožní pedály. Posun pedálů je ergonomicky výhodnější a umožňuje lehčí konstrukci sedačky bez pojezdového systému. Ovládací páka je tak v ideální pozici. Ovládání plynu, předrotace, uzávěr paliva nebo plynová páka pak musí být umístěna tak, aby o ně spolucestující během nástupu nebo letu omylem nezavadil. Ovládání dalších systémů je pak v oblasti kapličky, kde jsou všechny ukazatele a kontrolky. Během dlouhých letů jsou užitečné odkládací prostory. Pro drobné předměty slouží prostor po bocích interiéru. V případě potřeby, lze zvětšit zavazadlový prostor přidavnými závěsníky po bocích trupu.

5.4.1 Ergonomická studie

Pro základní ověření správného posedu se zhotovil dřevěný model páteřového rámu. Rozměry, sklony i výška rámu (od země) je měnitelná, stejně tak pilotova sedačka (v tomto modelu posloužila židle z ohýbané překližky). Tento model se přemístil k vírníku Calidus, dle kterého se stanovilo základní nastavení posedu. Větší sklon rámu již počítá s předsunutím předního kola před kabinu. Světlá výška rámu je také nižší. Tento krok byl konzultován s piloty firmy Nirvána autogyro.



Obr. 26 Ergonomický model

5.5 Estetika v letectví

Piloti mají jedno rčení: Co je hezké, to bude také dobře létat.

To dokládá i celkovou úroveň estetiky v letectví. Tvar, který je definován prouděním vzduchu přirozeně modeluje trupy letadel do jednoduchých forem. Vývoj v letecké aerodynamice prosazuje stále více organické tvary, které navíc mají i výtečné pevnostní charakteristiky. Například u dopravních letadel se neustále pracuje na vývoji a drobné změny v kapotáži motorů, konců křídel a náběhových hran, které tak pomáhají snižovat spotřebu paliva.

Představa o ideálu krásy, harmonie, dokonalosti a stylu je individuální a závisí na mnoha faktorech. Spousta pilotů preferuje čistotu tvaru a eleganci, která je podtržena technologií. Závodní a akrobatičtí letci, častěji preferují výrazné polepy. Tento styling je běžný u všech sportů a má dlouhou historii, která vychází z tradice válečných barev. Psychologicky má působit na zvyšování sebevědomí a k zastrašení nepřítele. Výrazná barevnost má význam i z pohledu marketingu. Velká konkurence mezi výrobci, kteří prodávají stejné koncepty vrtníků za podobné ceny, se snaží potencionálním zákazníkům vyjít vstříc a nabízejí tak vysokou míru individualizace. Naneštěstí tak vznikají polepy, které nerespektují dynamiku tvaru a snižují estetickou úroveň daných strojů.



Obr. 27 Niki autogyro

6 NÁVRH JEDNOMÍSTNÉHO VÍRNÍKU

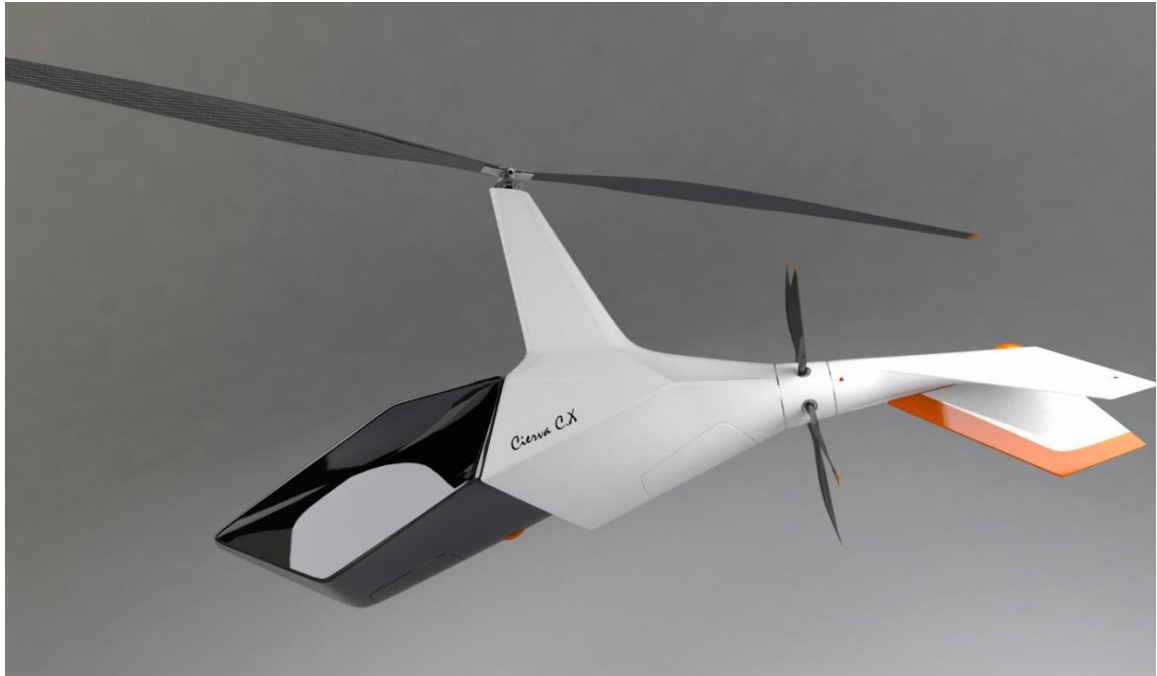
Mým cílem je navrhnout jednomístný vírník s nouzovým sedadlem, který bude mít pokročilou aerodynamiku a ergonomii. Tento vírník by měl být plnohodnotným dopravním prostředkem pro pilota a jeho zavazadla. Nouzové sedadlo je určeno pro krátké vyhlídkové lety. Motor by měl mít výkon cca 60k, což je téměř o polovinu méně než mají dvoumístné vírníky. Proto by měla být i velikost a váha tohoto primárně jednomístného vírníku co možná nejmenší. Tento návrh bude zpracován jako studie pro možnou budoucí realizaci a počítá proto s ověřenými technologiemi a konstrukčními postupy.

První návrhy vycházejí z vírníku calidus. Změnila se však velikost a proporce. Další změnou je integrace nosníku ocasní plochy, která prochází motorovým prostorem skrze reduktor vrtule. Toto řešení je na první pohled aerodynamicky čistější, než klasický nosník, který se vyhýbá prostoru vrtule. Ve světě vírníků je tato konstrukce zastoupená jediným výrobcem, Bulharskou firmou Niki rotor aviation, která vyvinula v roce 2009 vírník Lightning. Zadní část tohoto vírníku tvoří plynulý přechod k směrovým plochám. Po estetické a především funkční stránce je Lightning krokem vpřed, protože kombinuje aerodynamický trup letadla s výhodami klasické koncepce vírníku s tlačnou vrtulí. Lightning není příliš rozšířený vírník, podle dostupných informací existují pouhé dva prototypy. Během konzultací s piloty Nirvána autogyro se přišlo na možný důvod takto malé produkce. Těžká ocasní plocha je uchycena středem vrtule trubkou o průměru 30 mm, což může vést k menší odolnosti vůči vibracím a nárazům (zejména při tvrdším přistání). Vysoká směrovka neumožňuje výraznější sklon rotoru, což vede k delší vzletové dráze. Přistání na poli může být kvůli směrovce, která zasahuje velmi nízko, také obtížné. Pilot si tak musí hlídat úhly stoupání i klesání. V případě ostrého úhlu se může během přistávacího manévru vrtule dostat do styku s terénem. Konvenční uchycení směrovky umožňuje ochranu vrtule díky přidavnému krytu pod vrtulí.

6.1 Cierva CX

Cierva CX je koncept, který do kterého jsem vtěsnil všechny prvky ideálního vírníku. Tento návrh je určen pro plnohodnotné cestování dvou osob vysokou rychlostí. Vzhledem k ideální variantě, která by umožnila i svislý vzlet a přistání by se Cierva CX dala označit jako gyrodyn (rychlostní rekord Eurocopteru X3 je 482km/h). Aby tento koncept mohl alespoň teoreticky dosahovat obdobných rychlostí potřebuje zatahovatelný podvozek a turbohřídelovou pohonnou jednotku, která je náročná na množství vstupního vzduchu a odvádí stejné množství spalin. Proto má tento koncept hluboké vyrojení pod spodní částí kabiny pro vstup k

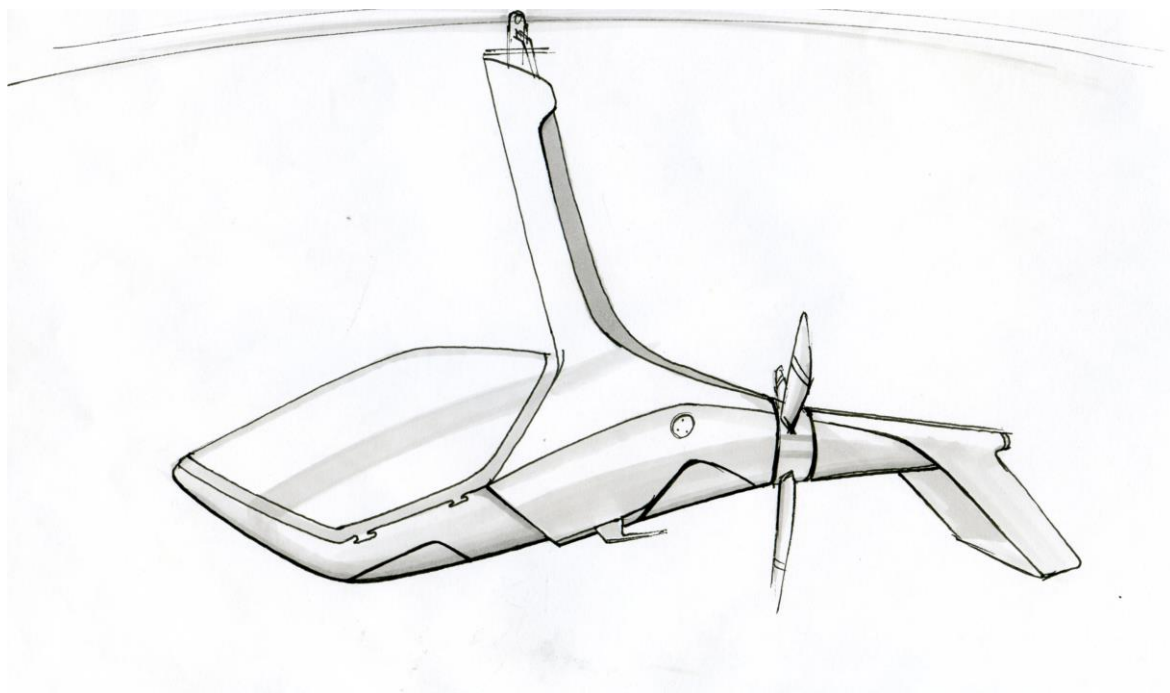
turbohřídelovému motoru. Jedním z nejdůležitějších prvků je integrace tlačné vrtule do ocasní části trupu, která je dodnes kvůli své komplikovanější konstrukci málo používaná.



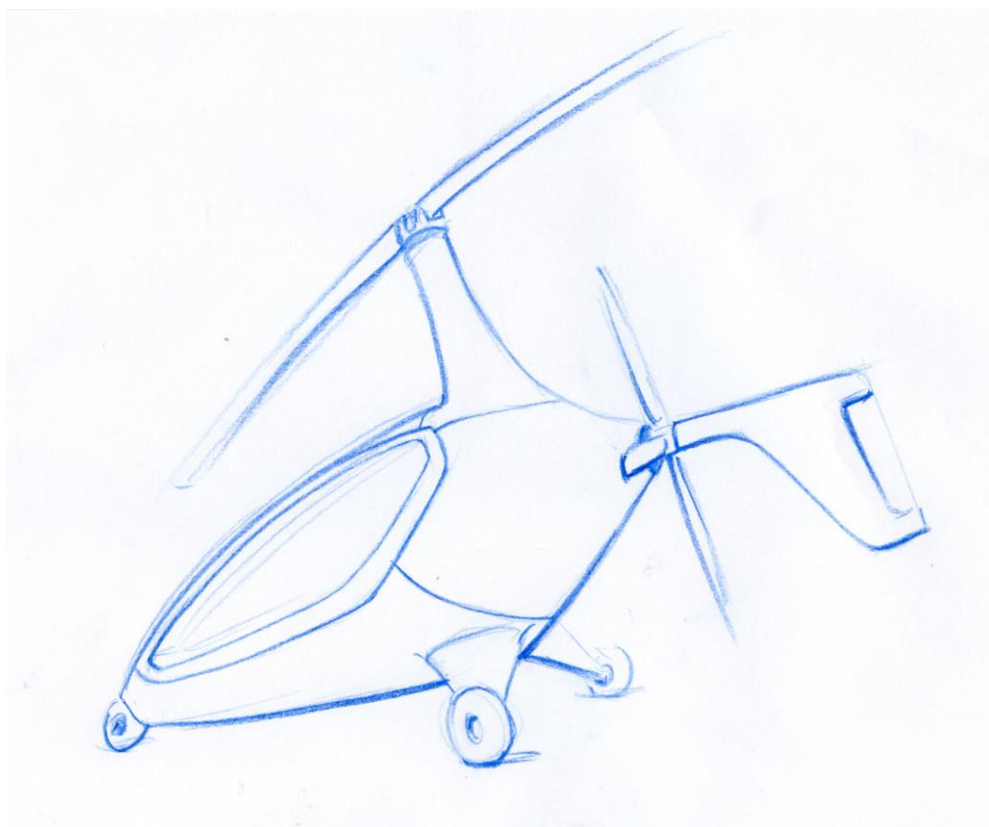
Obr. 28 Cierva CX

6.2 Kresebné návrhy

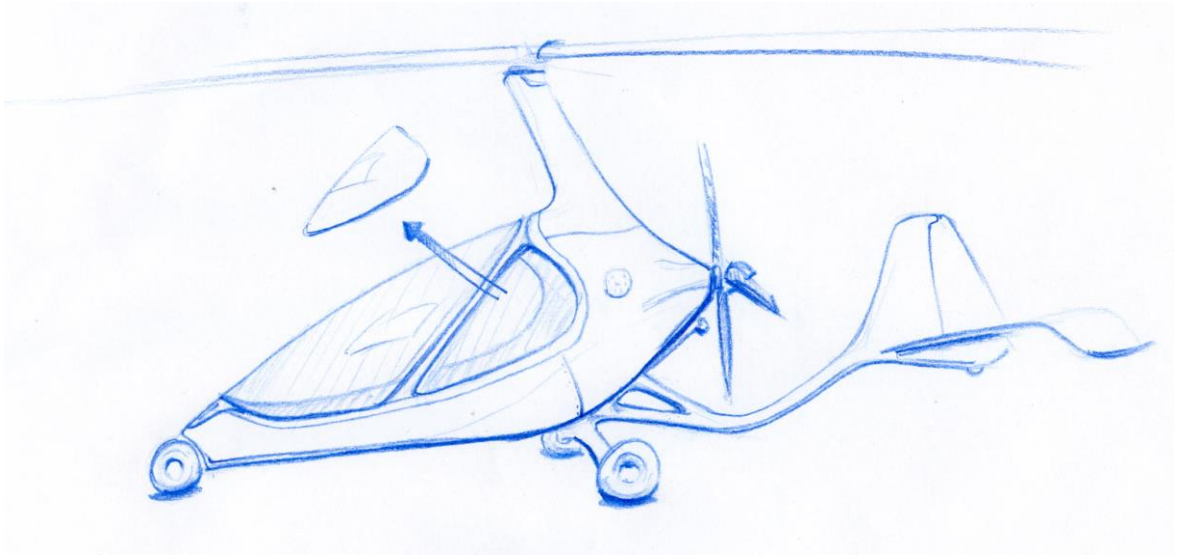
Kresebné návrhy mi sloužili především jako rychlý schematický záznam tvaru. Řešil jsem tak primárně proporce a ideální řešení zadní části trupu se stabilizační plochou. Již během prvních skic jsem se snažil odlišit od klasické koncepce, která má přední kolo pod trupem. Integroval jsem jej do přední části trupu, díky čemu se snížila výška nástupu a přední kolo navíc částečně splývá s trupem.



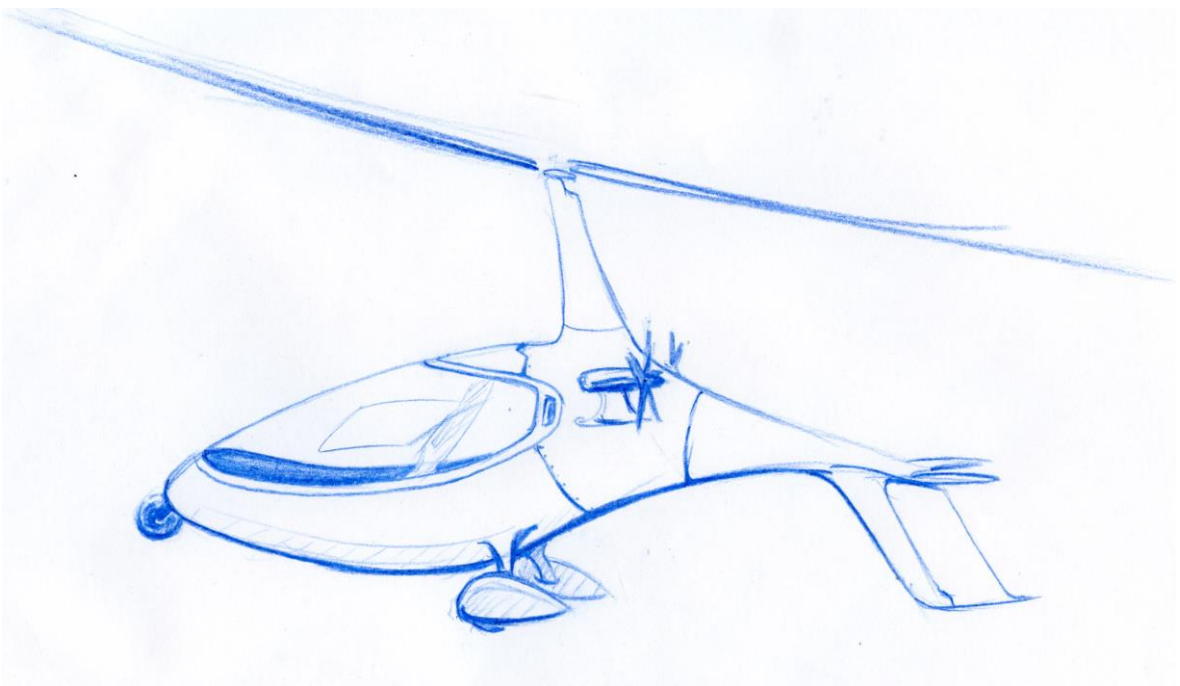
Obr. 29 skica, Cierva CX



Obr. 30 skica, GyroOne v.1



Obr. 31 skica, GyroOne v.2



Obr. 32 skica, GyroOne v.3

6.3 3D modelování

Finální podobu začal GyroOne získávat až díky 3d modelování v softwaru Rhinoceros. Postupoval jsem tak, že jsem umístil posádku do polohy, kterou jsem naměřil díky dřevěnému modelu. Dále jsem ve 3D vymodeloval motor a výfuk, dalším důležitým komponentům jsem nechal při modelování trupu dostatek místa.



Obr. 33 render, GyroOne v.1

První verze měla několik chyb. Šlo především o absenci zadní vertikální stabilizační plochy a umístění směrovky v malé vzdálenosti od vrtule. Krytování zadní nápravy ,které vychází plynule z trupu nemá jiné, než estetické opodstatnění.



Obr. 34 render, GyroOne v.2

V další verzi jsem předělal celý tvar trupu, který jsem částečně protáhl. Stabilizační plochy jsem zvětšil a posunul dále od vrtule. Zadní náprava je v této verzi po vzoru klasických vírníků navržena jako laminátový profil, který je přichycen k trupu. Všechny části vírníku, které nejsou součástí trupu se zde barevně odlišují. Překryt kokpitu se otevírá směrem nahoru, nebo se otevírá do boční strany. Překryt je rozdělen tak, aby bylo v případě letního létání možné vyjmout menší plexiskla.



Obr. 35 render, GyroOne v.2

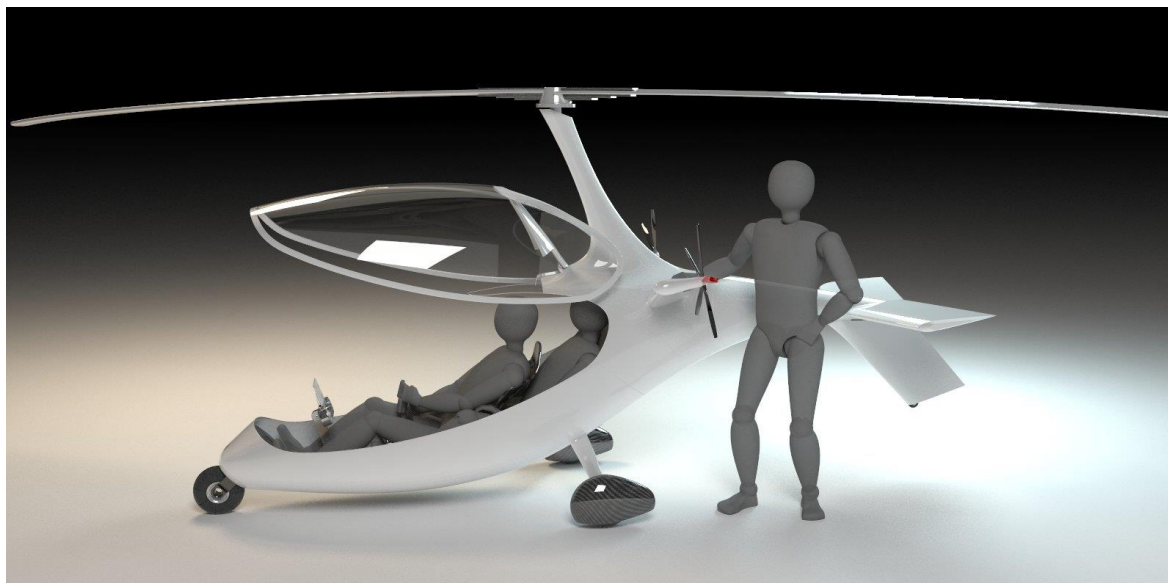
S touto verzí jsem byl již spokojenější. Nebyl jsem si však jistý, zda mám správně umístěnou osu těžiště a zda je velikost stabilizační plochy dostatečná. Z těchto důvodů jsem oslovil pana docenta Rozehnalu z Katedry letecké a raketové techniky Univerzity obrany v Brně, který se věnuje měřením v aerodynamickém tunelu. Tato konzultace pro mne byla dost zásadní a posunula mě k dalšímu konceptu.

Panem docentem jsem byl upozorněn na chyby v aerodynamice mého konceptu. První polovina trupu se plynule rozšiřuje a vzduch by zde měl proudit bez problémů. Po dosažení nejširší části trupu by se vzduch měl sbíhat v mírném sklonu až do ocasní plochy. V případě, že je tento úhel příliš ostrý začne docházet ke vzniku turbulentního proudění vlivem odtržení laminární mezní vrstvy vzduchu. Tento typ turbulentního proudění neprospívá tlačné vrtuli, která tak ztrácí na své výkonnosti a je o poznání hlučnější. Turbulence, které vznikají samovolným odtržením z hladkého tvaru se navíc projevují nepravidelným odtrháváním, ze kterého dále vznikají Karmánovy víry. Dochází tak k poryvům, které narážejí do vrtule a rozkmitávají trup i s ocasní plochou.

V další verzi jsem měl za cíl dořešit zadní část trupu. Po delším zkoušení a hledání ideálního tvaru jsem se dostal ke studiu trupu větroňů a to i přes diametrálně odlišné proporce a mechaniku letu větroně. Koncepce prvních vírníků vycházející z letadel se vyznačovala výbornou stabilitou. Začal jsem tedy navrhovat trup bez ohledu na umístění vrtule. Logicky mě napadla koncepce s motorem a tažnou vrtulí v přední části trupu. Toto uspořádání má ale nevýhodu ve vyvažování a omezuje výhled. Rozhodl jsem se na chvíli zapomenout na dosavadní návrhy a začal jsem kreslit pouze trup respektující prostor pro posádku a motor. Tuto myšlenku jsem následující den konzultoval s vedoucím mé diplomové práce panem Podzimkem, který mi představil nejmenší dvoumotorový letoun na světě. Francouzský Cri-Cri (cvrček) má dva malé dvouválcové motory, které jsou vysunuté na dvou pylonech v přední části trupu. Tento poznatek mi tak pomohl určit finální podobu GyroOne. Původně jsem chtěl experimentovat s umístěním motorů. České předpisy však nedovolují ultralehkým letounům použití dvou motorů. Toto zjištění určilo definitivní podobu, ve které jsou dvě tlačné vrtule umístěny na pylonech v oblasti motoru. Síla motoru je pak přenášena k vrtulím pomocí ozubených řemenů.



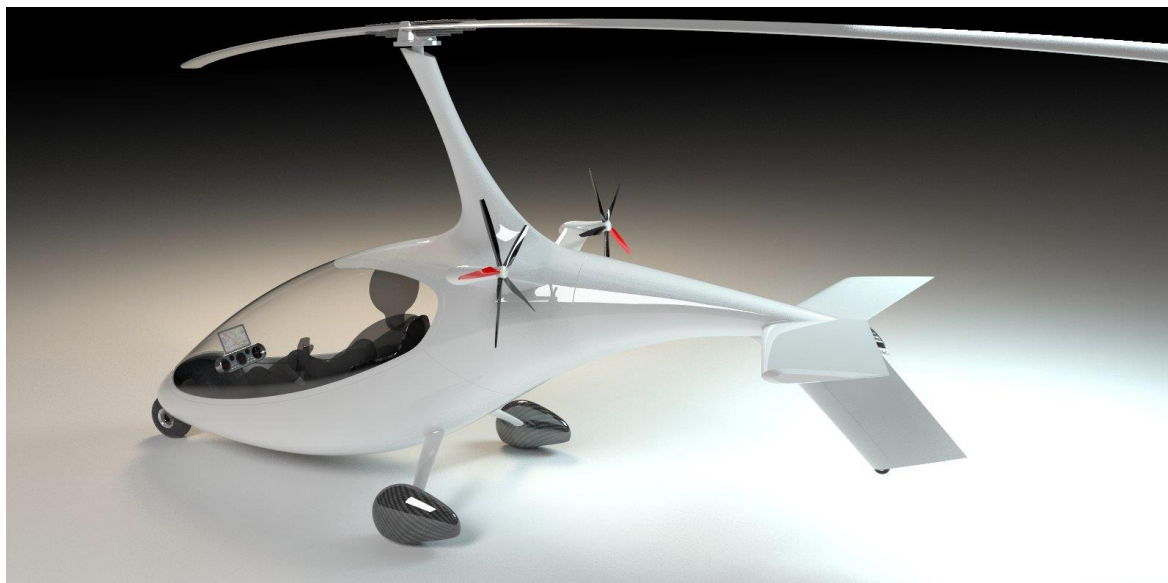
Obr. 36 render, GyroOne v.3



Obr. 37 render, GyroOne v.3



Obr. 38 render, GyroOne v.3



Obr. 39 render, GyroOne v.3



Obr. 40 render, GyroOne v.3

ZÁVĚR

V této práci jsem prozkoumal svět vírníkového létání. Objevil jsem slepou uličku letectví, kterou si v posledních patnácti letech prošla spousta leteckých nadšenců. Rotorových letadel tak začíná hojně přibývat s tím, jak vznikají nové firmy vyvíjející vlastní stroje. Navrhnout bezpečný, dobře létající a k tomu cenově dostupný vírník není jednoduché. Vzhledem k výrazně klesající nehodovosti se to však některým výrobcům daří. Koncepty vírníků GyroOne měli za cíl nalezení ideálního kompromisu mezi nejmenší možnou velikostí trupu a dobrou aerodynamikou, která by společně s malým motorem pomohla dosáhnout co možná nejvyšší rychlosti a malé spotřeby paliva. Díky konstrukci z kompozitního monocoque, použití moderního motoru a vylepšené aerodynamice by bylo zajímavé zkonstruovat takovýto vírník.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [2] What is a Gyroplane?. [Http://americanautogyro.com/](http://americanautogyro.com/) [online]. 2003 [cit. 2015-05-01].
Dostupné z: <http://americanautogyro.com/products.php>
- [2] Flying Magazine [online]. s. 21-22 [cit. 2015-05-15]. ISBN ISSN 0015-4806.
- [3] Vírničky, gyroplány a gyroglidery v Česku [online]. 2015. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.vrtulnik.cz/gyro/gyro.htm>
- [4] 2001-. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Buhl_A-1_Autogyro
- [5] Focke-Achgelis Fa 330 Bachstelze. 2008. <Http://www.vrtulnik.cz/> [online]. [cit. 2015-05-15].
Dostupné z: <http://www.vrtulnik.cz/gyro/fa-330.htm>
- [6] Bensen Aircraft. 2001-. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Bensen_Aircraft
- [7] Jukka Tervamaki. *The Home Page of Jukka Tervamaki* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.icon.fi/~jtki/>
- [8] IKENGA Autogyro. *David Gittens* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://dwij.org/about_us/dwij_projects.htm
- [9] Fairey Rotodyne. 2001-. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Fairey_Rotodyne
- [10] Autogyro History and Theory. 2002. [Jefflewis.net](http://www.jefflewis.net) [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.jefflewis.net/autogyros.html>
- [11] Vírničky bez pozlátka [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.vrtulnik.cz/gyro/gyro3.htm>
- [12] Přetížení. 2008. AEROWEB [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.aeroweb.cz/clanek.asp?ID=1241&kategorie=3>
- [13] Aerodynamika. 2001-. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Aerodynamika>
- [14] The Magni Gyro Company [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.magni-gyro.it/autogyro-en.html>

- [15]McCutchen WindRider [online]. 2011. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z:
http://www.pra38.org/Western_Rotorcraft_2011_11_hires__1_.pdf
- [16]Vírniky BAD 12. <Http://www.baueravion.cz/> [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z:
<http://www.baueravion.cz/cs/virniky-bad12/>
- [17]ArrowCopter AC20. Arrow-copter [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://arrow-copter.com/>
- [18]Gyroplanes. 2015. Autogyrohome [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.autogyro.com/en/Gyroplanes/>
- [19]WheelTug [online]. 2015. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.wheeltug.gi/>
- [20]The Bugatti 100 [online]. 2014. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://bugatti100p.com/>
- [21]Burt Rutan. 2001-. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Burt_Rutan
- [22]Luigi Colani. 2001-. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Luigi_Colani
- [23]DanielSimon [online]. 2015. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://danielsimon.com/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Helikoptéra Leonarda Da Vinci.....	11
Obr. 2 Vírník C.3	12
Obr. 3 Avro 671 společnosti Baťa	12
Obr. 4 Buhl-A1	13
Obr. 5 Focke-Achgelis Fa 330	14
Obr. 6 Bensen B-8	14
Obr. 7 Jt-5	15
Obr. 10 Ikenga	16
Obr. 11 Fairey Rotodyne	16
Obr. 12 Optimální poloha pilota vrtulníku	20
Obr. 12 Magni autogyro M14	23
Obr. 13 Magni autogyro M24 Orion.....	23
Obr. 14 Jim McCutchen, WindRyder	24
Obr. 15 Bauer Avion, BAD 12	25
Obr. 16 ArrowCopter AC20	25
Obr. 17 DiNelly eXoGyro.	26
Obr. 18 MTOsport	26
Obr. 19 Cavalon.....	27
Obr. 20 calidus	27
Obr. 21 WheelTug	28
Obr. 22 Pal-V	29
Obr. 22 Bugatti model 100	36
Obr. 23 Burt Rutan, Proteus.....	37
Obr. 24 Luigi Colani, studie helikoptéry	37
Obr. 25 Daniel Simon, Bubbleship.....	38
Obr. 26 Ergonomický model	40
Obr. 27 Niki autogyro.....	41
Obr. 28 Cierva CX.....	43
Obr. 29 skica, Cierva CX.....	44
Obr. 30 skica, GyroOne v.1	44
Obr. 31 skica, GyroOne v.2	45
Obr. 32 skica, GyroOne v.3	45

Obr. 33 render, GyroOne v.1	46
Obr. 34 render, GyroOne v.2	47
Obr. 35 render, GyroOne v.2	48
Obr. 36 render, GyroOne v.3	49
Obr. 37 render, GyroOne v.3	50
Obr. 38 render, GyroOne v.3	50
Obr. 39 render, GyroOne v.3	51
Obr. 40 render, GyroOne v.3	51