

Design vírníku

Vojtěch Mitura

Bakalářská 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 BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch Mitura**
Osobní číslo: **K12054**
Studijní program: **B8206 Výtvarná umění**
Studijní obor: **Multimédia a design – Průmyslový design**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Design virníku**

Zásady pro vypracování:

1. Historický přehled vývoje virníků
2. Analýza současné produkce
3. Stanovení designéřského řešení
4. Počáteční návrhy v kresebné formě
5. Vizualizace finálního designéřského návrhu
6. Ergonomická studie
7. Technická dokumentace
8. Model virníku ve zvoleném měřítku
7. Vypracování písemné doprovodné zprávy zahrnující všechny etapy návrhu a odůvodňující navržené řešení

"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 bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

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

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.

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

Brož, V. Aerodynamika nízkých rychlostí. Skripta. Praha : ČVUT, 2001, ISBN 80-01-02347-8, 182 s.

Vedoucí bakalářské práce: **MgA. Martin Surman, ArtD.**
Ateliér Průmyslový design

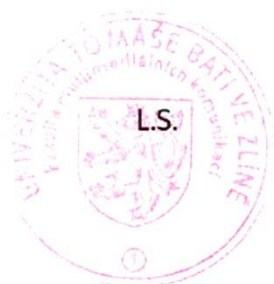
Datum zadání bakalářské práce: **2. prosince 2014**

Termín odevzdání bakalářské 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
A. Č. 2015

Vojtěch Mikula
.....
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 nahlédnutí 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 výtisky, 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 vzdělávacího 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 výdělků jím 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 přihlídnou k výši výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem vírníku ve spolupráci se společností NIRVANA SYSTEM s.r.o.

Je rozdělena na dvě části. Teoretická část objasňuje pojem vírník a pojednává o historickém vývoji a rovněž dnešní produkci vírníků.

Praktická část se zabývá kompozity, výrobou vírníků a samotným procesem navrhování až po ergonomii a celkové rozměry.

Klíčová slova: Vírník, gyroplane, autorotace, rotor, kompozitní materiál, aerodynamika, 3D model

ABSTRACT

Bachelor's thesis deals with design of gyroplane in cooperation with NIRVANA SYSTEM sro.

It is divided into two parts. The theoretical part explains the concept of gyroplane and discusses about the historical development and contemporary productions of gyroplanes.

The practical part deals with the composites, manufacturing of gyroplanes and itself process of designing to ergonomics and overall dimensions.

Keywords: Gyroplane, auorotation, rotor, composite material, aerodynamics , 3D model

Poděkování.

Rád bych tímto poděkoval všem pedagogům našeho ateliéru a to především vedoucímu práce, panu MgA. Martinu Surmanovi ArtD., za vedení konzultací, odborné rady a celkový přínos v mé práci. Rovněž ak. soch. Ondřeji Podzimkovi za jeho přínos v mé práci.

Dále bych chtěl poděkovat Pavlu Březinovi, za účast v tomto projektu, jeho čas, rady a v neposlední řadě možnost proletět se ve vírníku.

A nejvíce svým rodičům za celkovou podporu při navrhování, studiu a možnost studovat na vysoké škole.

„The sky's the limit.“

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

Vojtěch Mitura, 15.5. 2015, Zlín

OBSAH

ÚVOD.....	8
I TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1 CHARAKTERISTIKA VÍRNÍKU	10
1.1 TROCHU VRTULNÍK, TROCHU LETADLO.	10
2 HISTORICKÝ VÝVOJ VÍRNÍKU	14
2.1 JUAN DE LA CIERVA	14
2.2 OBDOBÍ DRUHÉ SVĚTOVÉ VÁLKY	17
2.2.1 Německo	17
2.3 IGOR BENSEN	19
3 VÝVOJ VÍRNÍKU OD 50. LET PO SOUČASNOST.....	22
3.1 FINSKO	22
3.2 ITÁLIE	25
3.3 NĚMECKO.....	25
3.4 OSTATNÍ VÍRNÍKY.....	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
4 TECHNOLOGIE A MATERIÁLY VE VÝOBĚ VÍRNÍKŮ	31
4.1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	31
4.1.1 Současné požadavky na kompozity:	31
4.1.2 Podle typu matrice (pojiva).....	32
4.1.2.1 Epoxidové pryskyřice	32
4.1.2.2 Polyesterová pryskyřice	33
4.1.3 Vlákná v kompozitech.....	33
4.1.3.1 Přírodní vlákná.....	34
4.1.3.2 Skelná vlákná	34
4.1.3.3 Bórové vlákná	34
4.1.3.4 Uhlíkové vlákná	34
4.1.3.5 Kevlar.....	35
4.1.4 Prepreg	36
4.2 METODY VÝROBY KOMPOZITŮ	37
4.3 TENKOSTĚNNÉ SKOŘEPINOVÉ KONSTRUKCE.....	37
4.4 OBECNÝ PROCES VÝROBY VÍRNÍKŮ	38
4.4.1 3D model a technická dokumentace	38
4.4.2 Sestavování vírníku	40
4.5 AERODYNAMIKA- KARMANOVÉ VÍRY	42
5 PŘEDSTAVENÍ PROJEKTU.....	43
5.1 SPECIFIKACE PROJEKTU	43
5.2 SKICI	44
5.3 PRŮBĚH NAVRHOVÁNÍ.....	46
5.4 VÝVOJ FINÁLNÍHO MODELU.....	54
5.4.1 Popis finálního modelu	56

5.5	SCHÉMA SPRÁVNÉHO PROUDĚNÍ VZDUCHU	62
5.6	ERGONOMIE	63
5.7	ROZMĚROVÝ VÝKRES	65
5.8	FINÁLNÍ VIZUALIZACE	66
	ZÁVĚR	67
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	69
	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

K tomuto projektu jsem byl pozván samotným a tehdejším vedoucím ateliéru průmyslového designu, prof. akad. sochařem Pavlem Škarkou. Se slovy "mám tady zajímavý projekt, který by se ti mohl líbit, jdi do toho...", jsem výzvu přijal a začal se podílet na projektu vírníku. Tento první krok se uskutečnil v červnu roku 2014. První a rovněž poslední schůzka s panem profesorem ohledně počátečních skic se uskutečnila na začátku srpna roku 2014.

Téma této bakalářské práce jsem si vybral už jen díky skutečnosti, že konečný výsledek už uvidím pouze já, ale také jako poctu panu Škarkovi za to, že mi dal možnost participovat na tomto projektu.

Celkový proces navrhování, který už trvá bezmála rok, mě naučil mnoha novým věcem. Tím, že vírník, jakožto letecký dopravní prostředek je záležitostí především správné konstrukce a aerodynamiky, musel jsem přistoupit na stranu, kdy designér respektuje především technickou podstatu věci a zcela pozměnit přístup v navrhování. O to víc, kdy designér navrhuje novou věc na starém, již zaběhlém základě.

Svou bakalářskou práci začínám objasněním pojmu "vírník" jelikož mnoho dotazovaných nemělo představu, co tento pojem znamená a jak se nadále odlišuje od klasické helikoptéry. Dále se přesouvám přes historický vývoj, až po zcela zásadní úsudky v designu až po finální řešení mého designu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

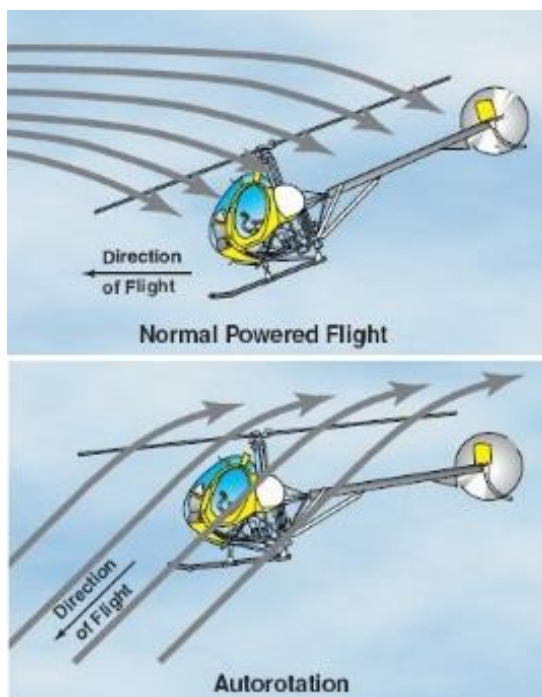
1 CHARAKTERISTIKA VÍRNÍKU

Jelikož i já sám jsem si při prvním kontaktu se slovem vírník, nebyl zcela jist o co se vlastně jedná, tak se domnívám, že je vhodné začít mou bakalářskou práci a část teoretickou objasněním pojmu slova "vírník". Jak se tento stroj odlišuje od klasického vrtulníku, či vrtulového letadla a obecné zákonitosti letu a fungování tohoto stroje.

1.1 Trochu vrtulník, trochu letadlo.

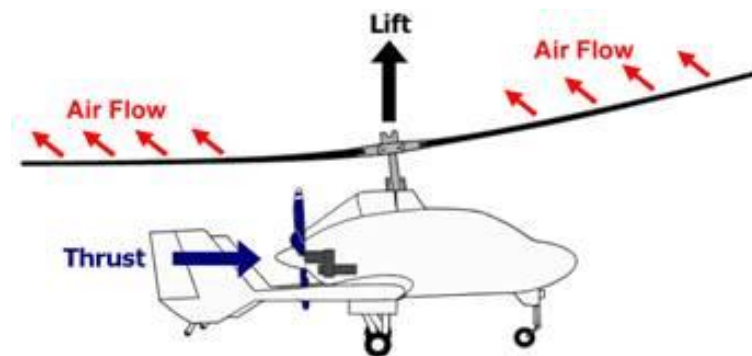
Vírníkové létání je velice specifické a nedá se srovnat s žádným jiným. Mohli bychom říct, že se jedná o kompromis mezi létáním klasickým letadlem a vrtulníkem. Jedná se převážně o rekreační a sportovní létání. V různých zemích mnohdy vírník nahrazuje klasické auto, jako daleko rychlejší a příjemnější možnost cestování a bývá využíván i v zemědělství.

Vírník je tzv. rotorové letadlo - stejně jako vrtulník. Ve vzduchu se udrží díky rotujícím rotorovým listům, které ovšem nejsou roztáčený aktivní pohonnou jednotkou. Rotor se roztáčí pomocí proudícího vzduchu, který přichází zespodu, mezi speciálně tvarovanými rotorovými listy a je ve stále **autorotaci**, na rozdíl od vrtulníku, kde je vzduch neustále nasáván shora a rotorové listy mění úhel nastavení.



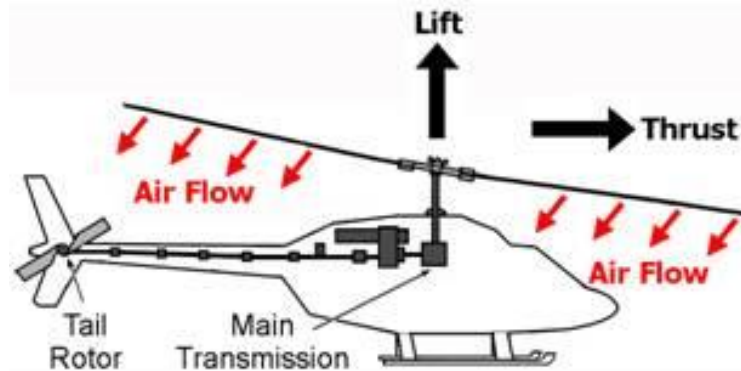
Obr. 1 Srovnání autorotace

Zde bych se pozastavil a více se zaměřil na pojem autorotace. Autorotace (*samovolná rotace*) je režim, při kterém není nosný rotor primárně poháněn motorovou jednotkou. U vírníků není nosný rotor poháněn motorem, do autorotace se dostane poté, co je přestane pohánět tlačná vrtule. Během motorového letu jde proud vzduchu přes rotorový disk svrchu a při autorotaci proudí vzduch vždy zesponu a udržuje listy v pohybu, zatímco stroj pomalu klesá.



Obr. 2 The Gyroplane

- tah je produkován pomocí tlačné nebo tažné vrtule poháněné motorem
- bezmotorový rotor je nakloněn, když se vírník pohybuje dopředu
- blížící se průtok vzduchu způsobí, že se roztočí rotor a zvedne se. Takto je nazývána autorotace
- vždy pracuje v autorotaci, tudíž
- nelze zcela zastavit ve vzduchu a „stát na místě“
- Letí bezpečně v nízkých výškách a nízkých rychlostech, ale nemůže se volně vznášet.
- Není zapotřebí převodovka ani zakloněného ocasního rotoru [1]



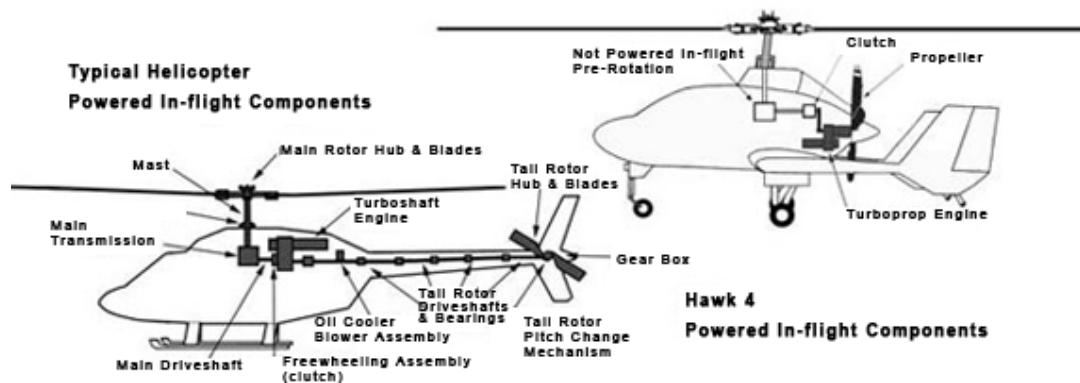
Obr. 3 The helicopter

- poháněný rotor produkuje i vztlak a tah, a je nakloněný dopředu
- může se volně vznášet, ale poháněný rotor vyžaduje:
- adekvátní rychlost vpřed / nebo výšku k udržení letu v případě výpadku síly
- těžkou hlavní převodovku
- ocasní rotor k vyrovnání točivého momentu [1]

Díky autorotaci lze bezpečně přistát i v případě vypadnutí motoru. Tento fakt je velice důležitý např. při selhání motoru na rozdíl od klasické helikoptéry.

Aby byl zaručen stálý proud vzduchu, je potřeba, aby se vírník pohyboval neustále dopředu. O to se postará klasický tlačný motor s třílistou vrtulí [2]

U tohoto obrázku můžeme lépe porovnat rozdíly uspořádání hnacích sil. Helikoptéra má hlavní hnací jednotkou poháněný jak hlavní rotor, tak ocasní rotor, na rozdíl od vírníků, kde je poháněna pouze tlačná vrtule a rotor při letu poháněn není.



Obr. 4 Rozdíl v uspořádání hnací síly

Pro prvotní roztočení rotoru vírníku do otáček potřebných k odlepení od země je zapotřebí v závislosti na síle větru rozjezd o délce cca 100 metrů. Ve chvíli, kdy jsou otáčky rotoru dostatečné, vznese se vírník do vzduchu.

Protože je nutné udržovat neustálý dopředný pohyb, nemůže vírník viset ve vzduchu na jednom místě jako vrtulník. Možné je pouze pomalé zastavení a opětovné pokračování v letu od nejnižší rychlosti, která se pohybuje kolem 30 km/h, do maximální rychlosti cca 160-180 km/h.

Co se týče přistání, tak tam si vírník vystačí i s relativně malým prostorem - 5 až 10 metrů. Princip autorotace totiž poté, co pilot přilétne nad místo přistání a zpomalí nad ním let, přivede vírník bezpečně a lehce na zem.

Vírníky nepotřebují nijak složité poháněcí a řídicí mechanismy jako vrtulník. Díky tomuto faktu je jeho údržba a provoz daleko jednodušší. Mezi výhody patří i to, že je daleko jednodušší na pilotáž než vrtulník. [2]

Obecně vírníky se poslední dobou těší velké oblibě díky snadné ovladatelnosti, obratnosti, krátkému startu a přistání, velkému rozsahu rychlostí, snese i horší letové podmínky, jednoduché údržbě, nenáročnému provozu.

Tento krátký úvod a uvedení do problematiky vírníkového létání považuji za velice důležitý první krok k pochopení všech jeho úskalí a uvedení na pravou míru všech rozdílů mezi vírníkem a helikoptérou.

2 HISTORICKÝ VÝVOJ VÍRNÍKU

S myšlenkou sestrojít letadlo, které by se vznášelo pomocí otáčejících se křídel, se setkáváme již v náčrtcích Leonarda da Vinciho, přibližně okolo roku 1490. Tento historický fakt však nic nemění na skutečnosti, že ten komu se to skutečně podařilo, byl Španěl jménem Juan de la Cierva.

2.1 Juan de la Cierva

S touto osobou je spojena celá historie a výroba od roku 1920 do roku 1936, kdy předčasně tragicky zahynul při havárii vojenského letounu.

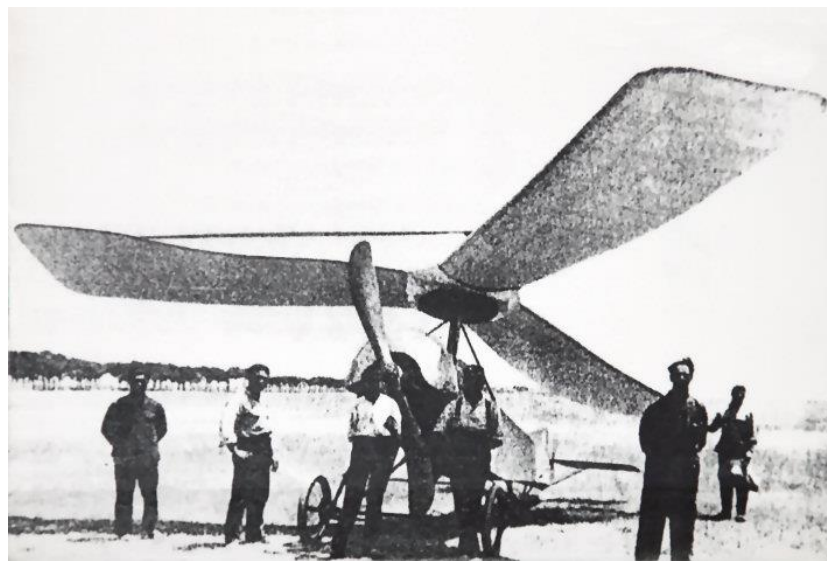


Obr. 5 Juan de la Cierva

Cierva již v roce 1919 začal přemýšlet o tzv. "rotujícím letounu" s použitím rotoru nepoháněným motorem na svých letounech. Ve své době se jednalo o zcela nekonvenční způsob létání.



Obr. 6 Cierva C.1 první vírník, tuhý rotor



Obr. 7 Cierva C-3, tuhý rotor

Cierva v roce 1920 staví první modely s tuhým rotorem, které ovšem byly neúspěšné. Po těchto nezdarech přichází s převratnou myšlenkou, které později využijí i konvenční helikoptéry. Aplikuje myšlenku montovat lopatky do náboje s měnitelnou osou náklonu na závěsech, tak že mohly vyrovnávat vzlety a vyrovnávat náklony rotoru v dopředném letu. [3]

První úspěšný let se uskutečnil v roce 1923.

Díky těmto změnám se věhlas vírníků velice rychle zvětšoval. Cierva získal několik prvenství v pokoření rychlosti a letových vlastností. Vírníky od této doby tak zažívají velký rozmach.



Obr. 8 Autogyro C.30 s volným uchycením rotoru

Vírníky se začaly používat napříč různými obory a jeden z nich bylo i doručování zásilek a letecké pošty.

Dokonce i firma Baťa se stala první, která využila tohoto nového způsobu dopravy.

Prvním vírníkem v Československu byl typ Avro 671 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.



Obr. 9 C.30A ve službách firmy Baťa

I přes smrt Juana de la Ciervy vývoj pokračuje dál. Během druhé světové války se osvědčily například pozorovatelské vírníky vlečené ponorkami, nicméně hlavní směr letectví se obrací více na letadla s pevnými křídly a vývoj klasické helikoptéry.

2.2 Období druhé světové války

Během tohoto období se vývoj vírníků nijak razantně nemění. 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 vývojářskou zemi patří během druhé světové války Německo.

2.2.1 Německo

První vírník podobný C.30 byl označen Focke-Wulf Fw 186. Ovšem mezi pokrokové se zapsal první vírník podobný díky své konstrukci těm dnešním. „Bachstelze“, neboli konipásek (Focke-Achgelis Fa 330), byl německý průzkumný bezmotorový vírník určený ke službám na ponorkách. Jednalo se o lehký stroj s jednoduchou konstrukcí, který startoval z ponorky, k níž byl přikotven lanem. Průtok vzduchu potřebný k roztočení rotorů byl dosažen pohybem ponorky na hladině.



Obr. 10 Focke-Achgelis Fa 330

Konstrukce se již velice podobá těm dnešním a tudíž můžeme tento stroj považovat za předchůdce dnešních vrtníků. Pozice pilota v ose rotoru u pylonu, zadní stavba a rozložení ostatních konstrukčních prvků tak, jak známe dnes.



Obr. 11 Focke-Achgelis Fa 330 na palubě ponorky

Mezi další zajímavé projekty patřil Flettner Fl 184. Tento stroj byl projektován jako protiponorkové letadlo, ovšem vývoj byl přerušen. Kokpit je již kapotovaný, což přináší celkovou lepší aerodynamiku celého letounu.



Obr. 12 Flettner Fl 184

S koncem války dochází k utlumení snahy pokračovat ve vývoji vírníků v Evropě. Vývoj se přesouvá do Ameriky, kde vírníky zažívají velkou obrodu díky Igoru Bensenovi.

2.3 Igor Bensen

Byl významný konstruktér a vývojář, který se narodil v Rusku, avšak žijící a tvořící v Americe. Za převratnou dobu můžeme považovat období kolem roku 1944 kdy se Bensen dostává do kontaktu s ukořistěným německým vírníkem Focke-Achgelis Fa 330 a vývojem projektu Hafner H.8 Rotachute. Jednalo se o náhradu klasického padáku pro výsadkářské síly z důvodu roztroušení jednotek po výsadku. Tento projekt si kladl za cíl vytvořit zcela jednoduché rotorové „letadélko“ které mělo výsadkáře dopravit přesně na místo určení. Celá konstrukce byla svařena z ocelových trubek a veškeré zbylé konstrukční prvky byly navrženy co možná nejrychleji a nejjednodušeji. Tato jednoduchost byla vedena jediným záměrem: minimalizace hmotnosti a požadavků na úložný prostor.



Obr. 13 Hafner H.8 Rotachute

Spojení vlastností H.8 a německého Focke-Achgelis Fa 330, vedlo Bensena k vytvoření vlastního vírníka B-6 Gyroglider, který svou konstrukcí připomínal projekt H.8



Obr. 14 B-6 Gyroglider

Zajímavostí je, že tento stroj byl postaven z vodovodního potrubí a překližky, zkrátka ze všeho co bylo v té době po ruce.

Další model B-7 Gyroglider se prodával jako „do it yourself“ a rovněž byl sestaven z vodovodních trubek.

Ovšem model, který vstoupil do dějin, jako doslovná skládačka byl B-8 Gyroglider. Stejná koncepce jako u předchozího modelu se stala velkým hitem a nejvíce prodávaným „home-built“ modelem vůbec. Firma Bensen Aircraft Corporation byla tak první firmou v 80. letech, která kdy začala nabízet vírník ve formě stavebnice a rovněž mezi první ze všech forem sportovního letectví.

Jednoduchý ocelový rám s rotorem a tlačnou vrtulí, posed pilota ve středu těžiště, zadní stabilizační plochy, motor uchycený na hlavní konstrukci, to vše se stalo hlavní předlohou pro vývoj vírníků ve zbytku 20. století a stalo se hlavní inspirací pro vývoj nadcházející vírníků.



Obr. 15 B-8 Gyroglider (72 hp (54 kW))

V Americe tak začíná velká éra vírníkového letectví, která nezná hranic v kreativité stavitelů. Jsme tak svědky všemožných šílených forem vírníkového letectví, sestavených v garážích jednotlivými kutily. Tento fenomén se zcela jistě posouvá i do evropských zemích, kde vznikají první firmy a společnosti zabývající se vývojem vírníků a tzv. „ultralightů“.

3 VÝVOJ VÍRNÍKU OD 50. LET PO SOUČASNOST

První polovina 20. století se tedy nese ve stálém duchu zkoumání a objevování nových způsobů ve vírníkovém létání. Právem tedy můžeme Ciervovu C.30, německé nekonvenční způsoby nasazení vírníků, až po Bensovu B-6 považovat za průkopníky tohoto létání. Ovšem pravý zrod Sport Aviation se datuje od 50. let minulého století. Na tuto scénu pronikají noví zájemci s cílem postavit svůj vlastní gyroplane a žít tak svůj sen volného sportovního létání. Mezi nové nejvýznamnější vývojářské země patří Finsko, Itálie a Německo se svým MT 03- později modernizovaným na MTO sport.

3.1 Finsko

Jukka Tervamäki se zasloužil o vývoj vírníků ve Finsku. Tento muž se postupně seznamuje s problematikou vírníkového létání a zakupuje rotorovou hlavu a lopatky od Bensema z modelu B-7 na svůj první stroj JT-1 v roce 1958.

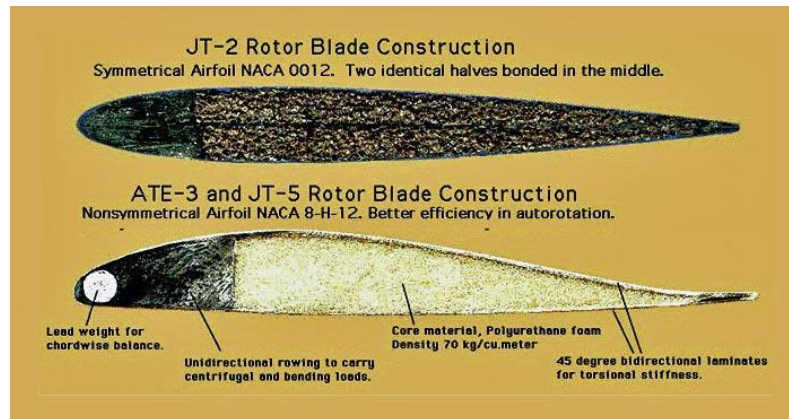


Obr. 16 JT-1

Po neúspěchu s tímto modelem vzniká o 6 let verze ATE-3. Tento vývoj také zahrnuje světově první kompozitní lopatky rotoru pro vírník a rozsáhlou studii stability vírníku s horizontálním stabilizátorem. [4]

Čepele lopatek prochází výraznou úpravou a jsou vyráběny z laminátu. U tohoto modelu dochází také ke kombinování různých dílů a částí z kluzáků či jiných vírníků. Rovněž vírníky

už nejsou jen létajícím „konstrukčním monstrem“, ale začínají se dělat první laminátové skořepiny. Laminát začíná hrát velkou roli ve výrobě vírníků.



Obr. 17 řez čepelí lopatky ATE-3 a starší JT-2.

Model ATE-3 je již plnohodnotný kultivovaný dopravní prostředek. Návrh interiéru, přístrojová deska, exteriér, rozvržení všech letových přístrojů, knipl, můžeme zde již mluvit také o první ergonomii v interiéru a zaručení určitého pohodlí při letu samotném.



Obr. 18 ATE-3

Stroj ATE-3 měl ze startu mnoho závad, jak to už bývá zvykem u různých prototypů letadel. Ty se rychle opravily a stroj začal bezchybně pracovat. Tento návrh se prodává a staví se nový model JT-5 autogyro.



Obr. 19 JT-5 autogyro

Tento model se stal vůbec nejoblíbenějším typem v 70. letech i v letech nadcházejících. JT-5 se stal velkým hitem takřka po celém světě. Měl již odklopný kryt kokpitu, celosklolaminátové díly. Kokpit navržený Tervakim a sedadlo pilota, poskytuje stejný komfort, který nalezneme v dnešních vírnících společně se všemi kontrolními prvky umístěnými pro snadný úchop pilota. [5]

Motor Limbach Motorenbau o objemu 1700 cc dodává výkon 75-80 koní při 3800 otáčkách za minutu. Všechny díly jsou navrženy tak, aby se daly rychle odejmout pro rychlou montáž motoru, doletí oleje a jiné pravidelné údržby.

I přes všechny úspěchy Tervaki pokračuje v roce 1975 ve vývoji dalšího prototypu a stávající model JT-5 prodává do Itálie Vittoru Magnimu. Posledním prototypem se stává varianta kluzáku se stahovacím motorem JT-5, který se stal základnou pro aktuální model PIK-20E.

Jukka Tervamäki opět spadá mezi řadu lidí, kteří podstatnou měrou obohatili svět tohoto létání a poskytli tak své vědomosti světu.



Obr. 20 PIK-20E

3.2 Itálie

Vittorio Magni začal také stavět na základech Bensena ovšem nejznámější verze dvoumístného vírníku je M24 Orion.

M24 Orion je první na světě továrně vyráběný 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, s uspořádáním sedadel vedle sebe.

Orion M24 je plně uzavřený, vybavený duálním ovládním pro pilota i pasažera, speciálně vyvinutý pro zákazníka, který požaduje maximální komfort včetně bezprostředního kontaktu se spolucestujícím, ale chce si užít všechny výhody vírníkového létání. [6]

Expanse na trh modelu M24 Orion přichází v roce 2000. M24 je vybavena motorem Turbo Rotax 914 (115 HP), patentovaným systémem integrované 82 litrové nádrže za sedadlem vyrobené s epoxidové pryskyřice vyztužené skelnými vlákny a kabinou z carbonu.



Obr. 21 M24 Orion

3.3 Německo

Zde vzniká jeden z vůbec nejrozšířenějších vírníků po celém světě. MTO 03 vznikl v roce 2003. Jedná se o dvousedadlový otevřený vírník vyráběný německou firmou **Autogyro GmbH** s výkonem motoru 100 hp Rotax 912, nebo přeplňovaným 115 hp Rotax motorem. Ocelový rám je doplněn o kompozitní materiály, především o sklolaminát.

MTO 03 pokrýval a pokrývá velkou škálu využití,- rekreační a sportovní, vzdušné pozorování a různé typy pozemní podpory, policejní střežení atd.

Z modelu MTO 03 byl plynule vyvinut model MTO Sport, který byl představen na jaře roku 2008. MTO Sport je jedním z několika vírníků, které prošly přísným britským testováním.

Jedna z největších silných stránek MTO Sport je jeho snadná ovladatelnost a rychlost seznámení se s tímto strojem a schopnost usednout v poměrně krátkém čase za knipl. Mezi další pozitiva zcela jistě patří dnešní nízké pořizovací náklady, které se dnes blíží klasickému rodinnému autu střední třídy a také to, že pokud se o něho dobře postaráte, tak vám to oplatí nesčetněkrát v podobě dokonale stráveného času ve vzduchu.



Obr. 22 MTO Sport

Firma Autogyro HmbH dále produkuje další vírníky. Uzavřený Calidus a Cavalon se sedadly umístěnými vedle sebe. Momentálně se jedná o jedny z nejlepších modelů na trhu. Dvoumístný Calidus byl uveden na trh v roce 2009. Uzavřená kabina poskytuje maximální komfort a to i v chladném počasí. O úspěchu Cavalonu svědčí i fakt, že tento první model se sedadly umístěnými vedle sebe získal v roce 2012 cenu RED DOT. Cavalon je rovněž plný inovací a nových technologií a to vše s prvotřídním designem.



Obr. 23 Calidus



Obr. 24 Cavalon

3.4 Ostatní vírníky



Obr. 25 Niki Rotor Aviation Bulharsko



Obr. 26 Apollo Ultralight Maďarsko



Obr. 27 Delta Trikes Aviation Francie



Obr. 28 Ela Aviacion Španělsko



Obr. 29 FD Composites arrowcopter Rakousko



Obr. 30 PAL-V Nizozemsko

V celkovém vývoji a dnešní produkci by se zcela jistě dalo nalézt daleko více různých typů vírníků, ale všechny zmíněné od Ciervova C.30, až po dnešní MTO Sport a Lightning se zařadili mezi nejslavnější a největší měrou přispěly k celkovému dnešnímu obrazu vírníků. Nebýt osobností jako Juan de la Cierva, Igor Bensen, Jukka Tervamäki a další významných konstruktérů, můžeme se jen domnívat, jak by vypadalo dnešní vírníkové létání.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 TECHNOLOGIE A MATERIÁLY VE VÝOBĚ VÍRNÍKŮ

Technologie a materiály využívány ve stavbě vírníků nejsou do jisté míry až tak sofistikované, jako u výroby klasických letadel. Převážně je využíváno kompozitních materiálů a ocelových nebo hlinkových rámu pro stavbu konstrukcí.

O samostatném procesu výroby vírníků pojednává další kapitola.

4.1 Kompozitní materiály

V této kapitole se budu zabývat čistě kompozity, které souvisí se stavbou vírníků.

Kompozity představují velmi rozsáhlou skupinu moderních konstrukčních materiálů, jejichž výzkum, vývoj a použití významně vzrostly zejména s rozvojem raketové techniky a kosmonautiky, zejména v letectví. [8]

Kompozitní materiál je kombinace dvou nebo více materiálů (vyztužovací elementy, výplně a spojovací matrice), lišících se v makroměřítku tvarem, nebo složením. Složky si v nich zachovávají svou identitu (tzn. vzájemně se úplně nerozpouštějí ani neslučují), ačkoliv na své okolí působí v součinnosti. [7]

Jsou tvořeny organickou, kovovou, nebo keramickou maticí zpevněnou vlákny nebo dispergovanými či segregovanými částicemi. Téměř neomezený výběr materiálů pro matici a zpevňující fáze, proměnnost jejich objemového podílu, různé způsoby jejich vzájemného uložení, způsoby výroby a zpracování v konečnou součást, umožňují vytvářet velké množství kompozitů s vlastnostmi nedosažitelnými u materiálu klasických a měnit tyto vlastnosti podle potřeby ve velmi širokém rozmezí. [8]

Všechny zmíněné informace níže jsou již směřovány do procesu, ohledně výroby vírníků.

4.1.1 Současné požadavky na kompozity:

Některé požadavky u klasických materiálů jsou jen těžko splnitelné, proto kompozity mají tyto výhody: [7]

- zvýšení tuhosti
- zvýšení pevnosti
- zvýšení rozměrové stability
- zvýšení houževnatosti

- zvýšení teplotní stability
- zvýšení mechanického tlumení
- snížení propustnosti pro kapaliny a plyny
- modifikace elektrických vlastností
- snížení nasákavosti
- zmenšení teplotní roztažnosti
- zvýšení korozní nebo chemické odolnosti
- udržení tuhosti a nebo pevnosti při vysoké teplotě
- snížení negativního dopadu na životní prostředí
- redukce hmotnosti
- snížení ceny

Díky všem těmto vlastnostem není divu, že právě kompozity našly největší zastoupení v letectví. Kompozity dále dělíme podle:

4.1.2 Podle typu matrice (pojiva)

Matrice spojuje vlákna dohromady a musí splňovat:

- tvořit kompaktní hmotu
- oddělovat od sebe vlákna tak, aby se zabránilo šíření případných trhlin
- zprostředkovávat přenos namáhání z vláken slabých na vlákna silná
- chránit vlákna proti vlivům prostředí
- na hotové součásti tvořit dokonalý povrch, zakrývající texturu vlastní výztuže kompozitu. [8]

Nejlépe se zatím osvědčily nekovové matrice z organických polymerů. Jsou to zejména tyto plasty:

4.1.2.1 Epoxidové pryskyřice

Nejčastěji používané matrice kompozitních materiálů. Mají tyto přednosti:

- vynikající mechanické a elektrické vlastnosti
- široký výběr typů a vytvrzovacích systémů
- vytvrzování při nízkých teplotách
- vynikající adheze k vláknům i kovům

- dobrá chemická odolnost
- stálost do 200°C
- při vytvrzování nevznikají těkavé zplodiny [8]

4.1.2.2 Polyesterová pryskyřice

Horší mechanické vlastnosti než epoxidy, jsou použitelné jen do 50 až 100°C, avšak mají tyto přednosti:

- nízká cena
- rychlé vytvrzování
- dobrá odolnost proti atmosférickým vlivům, alkalického prostředí a slabě kyselého prostředí [8]

Tyto druhy pryskyřic jsou nejvíce využívány ve výrobě skořepin těl a ostatních dílů vírníků.

4.1.3 Vlákna v kompozitech

Vláknové kompozity lze zhruba třídit na jednovrstvé a vícevrstvé. Jednovrstvé kompozity ve skutečnosti mohou být zhotoveny i z několika samostatných vrstev, z nichž každá má tutéž orientaci a tytéž vlastnosti, a tudíž celý laminát lze považovat jako jednovrstvý kompozit. Vícevrstvé kompozity se zpravidla používají v konstrukcích. Hybridní materiály sestávají s různých vrstev materiálů. [9]

V kompozitech se používají nejrůznější druhy vláken. V zásadě je můžeme rozřadit na následující skupiny:

- přírodní vlákna
- skleněná vlákna
- uhlíková
- keramická
- kovová
- whiskery [7]

4.1.3.1 Přírodní vlákna

Mají dobré vlastnosti. Tato vlákna mohou být lněná, bavlněná, jutová, konopná, kokosová. Základem všech těchto vláken je celulóza. Většina těchto vláken je biodegradovatelná.

4.1.3.2 Skelná vlákna



Obr. 31 Skelné vlákno

Patří mezi nejstarší kompozity.

- dobré mechanické vlastnosti
- odolnost proti atmosférickým vlivům
- snadná výroba složitých tvarů
tuhost zhruba jako hliník
- rozpor mezi vysokou pevností a vysokou smáčivostí- pro zvětšení smáčivosti je žádoucí úprava povrchu- lubrikace, ta ale snižuje pevnost vláken. [8]

Jsou vhodné zejména tam, kde nejsou zvláštní požadavky na tuhost a hmotnost součástí, kde použití kompozitů s jinými vlákny by bylo zbytečně nákladné.

Mohutný rozvoj v letectví vyžadoval nové kompozity s organickou maticí, mající lepší vlastnosti než skelné lamináty. Staly se jimi tak bórové, uhlíkové a kevlarové vlákna.

4.1.3.3 Bórové vlákna

Vyrábí se redukcí plynné sloučeniny trichlorbóru s vodíkem za teploty 1050°C, kdy se uvolněný bór vylučuje na tenkém žhavém vláknu z wolframu. Velká pevnost v tahu, tlaku. Vhodné pro kompozity s kovovou maticí. [8]

4.1.3.4 Uhlíkové vlákna

Patří do skupiny vláken s nejlepšími vlastnostmi.

- mají asi desetinásobnou tuhost a poloviční hustotu proti skleněným vláknům
- prodloužení při přetržení je menší než u skleněných vláken
- obsahuje 90/95 % čistého uhlíku



Obr. 32 Uhlíková vlákna- carbon

- vynikající tepelné vlastnosti
- stabilní do 1000°C
- minimální teplotní roztažnost
- na rozdíl od skla velká odolnost únavě
- elektricky vodivá
- mohou obsahovat různé procento grafitu
- nevýhodou je křehkost [7]

Nejčastější matricí pro uhlíkové, případně grafitová vlákna, je epoxidová pryskyřice.

4.1.3.5 Kevlar



Obr. 33 Aramidové vlákno

Technologie kevlaru kombinuje pevnost materiálu společně s jeho nízkou hmotností, čímž mu dává široké uplatnění od průmyslu až po běžné použití. Základ tvoří aramidové vlákno.

- vysoká mechanická odolnost

- tepelná odolnost
- samozhášivý
- vysoká smáčivost

Převážně se kevlar používá k vyztužení a zesílení různých komponentů a dílů. Vyrábí se z něho i ochranné vesty, chrániče atd. [8]

4.1.4 Prepreg



Obr. 34 Prepreg-carbon

V dnešní době se obecně při stavbě letadel nejvíce využívá technologie zvaná prepreg.

Prepregy jsou polotovary k výrobě vláknových kompozitů, jejichž hlavní složkou je výztuž předimpregnovaná částečně vytvrzenými pryskyřicemi. Prepregové listy se případně vrství do požadované tloušťky, dotvarují ve formách a dotvrdí se působením tepla a tlaku. Na výztuže se používají textilní materiály, zejména skleněná, uhlíková a aramidová vlákna. K impregnaci prepregů se nejčastěji používají nenasycené polyesterové pryskyřice, vinylové a epoxidové pryskyřice.

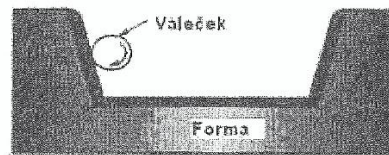
Během výroby výztuže nesmí ztuhnout a proto se chladí na cca. $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Následná skladovatelnost je zhruba 2 až 3 měsíce a často se skladují v mrazničce. Nejčastěji při výrobě se využívá autoklávu.

Hlavní výhody prepregů jsou vysoký podíl vláknové výztuže, stejnoměrnost a hladkost hotových dílů, které souvisí s předem definovatelným a přesným uložením výztuže.

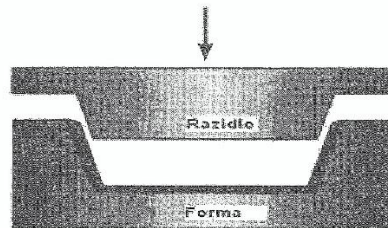
Vyšší cena oproti ostatním kompozitním materiálům, poměrně značný odpad při zpracování a nutnost skladování při nízkých teplotách jsou nevýhody prepregů. [10]

4.2 Metody výroby kompozitů

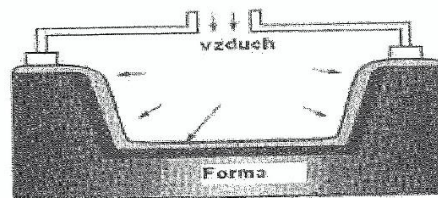
Stále ještě nejčastěji a dnes již klasický způsob výroby vláknového kompozitu s plastovou matricí spočívá v použití tkaniny z vláken (nejčastěji skleněných). Tkanina zaručuje stejnou orientaci všech vláken a současně potlačit anizotropii- vlákna jsou v dvou hlavních směrech. Je možno použít různých ručních nebo poloautomatických technologií, jak ukazují tato schémata:



Obr. 35 Ruční výroba zalitím tkaniny ve formě a zavalečkováním.



Obr. 36 Poloautomatická výroba zalitím tkaniny ve formě a zalisováním.



Obr. 37 Poloautomatická výroba zalitím tkaniny ve formě s použitím přetlaku.

4.3 Tenkostěnné skořepinové konstrukce

Tenkostěnné konstrukce jsou takové, u nichž je tloušťka jednotlivých prvků řádově odlišná od ostatních rozměrů. Při těchto rozměrech lze zanedbat proměnlivost smykového napětí

po tloušťce stěny. Použití tenkostěnných konstrukcí je základ řešení rozporu mezi požadavkem vysoké pevnosti a tuhosti letecké konstrukce na jedné straně a minimální hmotnost na straně druhé. [11]

Obecně vzato skořepinové konstrukce a další díly pokryjí většinu celkové plochy kromě ocelového či hliníkového rámu vírníku.

Tyto jednotlivé díly se k sobě následně laminují a vzniká celková skořepina těla, která se poté chová a má vlastnosti jako skořepina uzavřená.

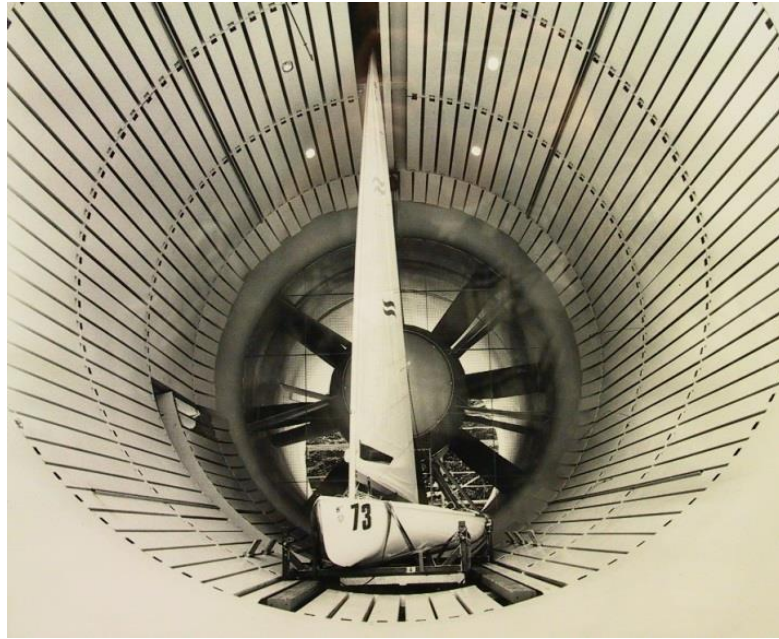
4.4 Obecný proces výroby vírníků

Obecný proto, jelikož celkový proces výroby vírníků je velice sofistikovaný proces, který se dnes mnohdy blíží výrobě v automobilovém průmyslu a sepsání jednotlivých etap by bylo tématem na další bakalářskou či diplomovou práci. V této podkapitole, tedy chci stručně popsat a seznámit s výrobním procesem.

4.4.1 3D model a technická dokumentace

Jedná se o první etapu, bez které by nebylo možno pokračovat dále. Přesný 3D model, na který jsou kladeny velké nároky, vytvořený v CAD systému, slouží pro veškeré ověření celkového tvaru, konstrukce ploch a rovněž pro testování, které je nezbytné pro další vývoj. Velká míra testování se obrací k aerodynamickému testování, jak na bázi softwarového testování, tak reálného ofukování ve větrných tunelech reálných či zmenšených modelů.

Tato fáze sebou obnáší i velké množství technické dokumentace a technických výkresů pro vytvoření forem, všech dílů a celkový proces výroby.



Obr. 38 Aerodynamický tunel IAG, UNI Stuttgart



Obr. 39 Civilní letoun při testování aerodynamiky.

Po této fázi veškerého testování a příprav, která mnohdy může trvat déle jak rok, se může začít s reálnou výrobou prototypu. Konkrétně u vírníků se může jednat jak o poloautomatizovanou výrobu (konkrétně německá firma Autogyro, která za rok produkuje až několik stovek kusů), tak o menší výrobní cykly. Jedná se o menší dílny zabývající se výrobou, úpravou a produkcí vírníků až po „garážové“ a domácí výroby rozšířené po celém světě.

4.4.2 Sestavování vírníku



Obr. 40 Zmenšený model vírníku Calidus

Tato fáze výroby rovněž závisí na daném typu. Rozhodující je, jestli se staví na starém či novém základě. U zcela nového typu vírníku se musí počítat s dlouhým procesem atestování a certifikace, který se pohybuje v řádech od několika měsíců až po několik let. V případě, že se staví na starém základě, je tento proces ušetřen a může se začít ihned.



Obr. 41 Hliníkový rám Calidus

Rámy jsou většinou hliníkové nebo ocelové. Tyto rámy jsou svařovány a podléhají přísným kontrolám. Z tohoto důvodu je třeba zakázáno použít komaxitový nástřik rámu. Rámy se ponechávají čistě ve svařeném stavu. Na rám je dále montován motor, rotor a všechny ostatní součásti.



Obr. 42 Tělo Calidisu vyrobeno laminováním z kompozitů.

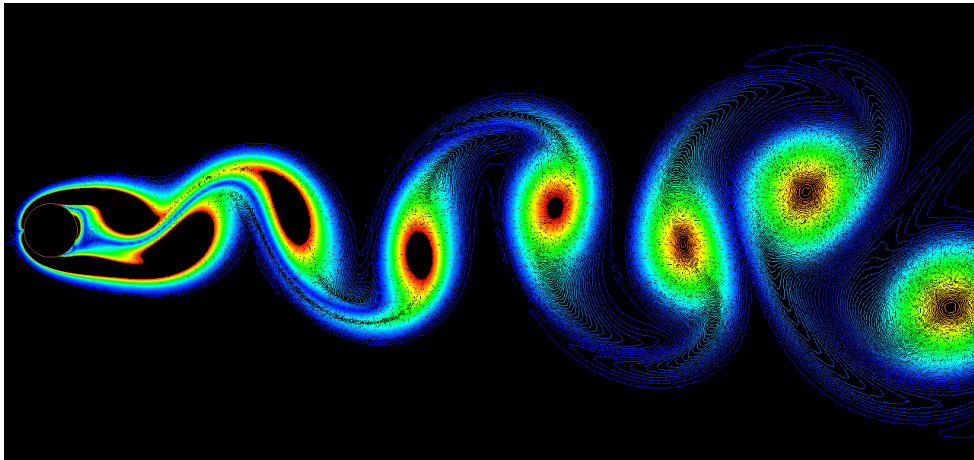
Jedná se většinou o skořepiny či jednotlivé díly, spodní vany, nebo půlky, které jsou poté k sobě laminovány. Tyto skořepiny mohou obsahovat kovové výztuže, pruty, ocelové záhlisky k vyztužení a propojení celkového těla vírníku. Tyto skořepiny jsou dále tmeleny a broušeny tak, aby získaly co možná nejhladší plochu a následně lakovány.



Obr. 43 Skořepina z laminátu pro MTO Sport

Těla a jednotlivé části se dále kotví a šroubují na samotný rám a přidávají další nezbytné části jako nádrže, které jsou mnohdy již speciálně vytvarované podle těla a přiléhají tak dokonale na zadní plochu a plní také vyztužující faktor celého vírníku. Dále jsou přidávány palubní desky s celkovou elektroinstalací, sedačky, ovládací prvky atd. až je sestavený celý vírník.

4.5 Aerodynamika- Karmanové víry



Obr. 44 Karmanové víry

Karmanový vír je opakující se proud vířeného vzduchu, způsobený nestabilní separací proudění vzduchu kolem tupých těles. Je tvořen v určité rychlosti. Takto proudící vzduch plynule teče po ploše tělesa a v určitém mezním bodě, kde už dál vzduch nemá možnost téct se odtrhne a začne vytvářet chlum vzdušných vírů, které se postupně zvětšují. Ideální případ nastává v momentě, kdy se plynule tekoucí vzduch sveze po ploše a v krajním místě úmyslně odtrhne. Takto odtržený vzduch plynule pokračuje v rovné linii a nevytváří nežádoucí víry. Příkladem mohou být ostré hrany nebo malé spoilery u automobilů.



Obr. 45 Testování čelního proudění vzduchu

5 PŘEDSTAVENÍ PROJEKTU

V roce 2014 se mi naskytla možnost podílet se na projektu vývoje vírníku. První schůze se uskutečnila začátkem června s majitelem firmy NIRVANA Autogyro Pavlem Březinou. Následovalo seznámení s projektem, požadavky ohledně navrhování a poté jízda do dílen, kde se nacházel typ MTO Sport. V garážích jsme měli možnost se seznámit víc s problematikou vírníkového létání, sednout si do interiéru a nafotit si vše potřebné pro samotné navrhování. Na samotném začátku nás bylo 6 designérů. Každý z nás navrhoval svůj vlastní koncept, ke konci se tým vyhranil do tří finálních návrhů.

5.1 Specifikace projektu

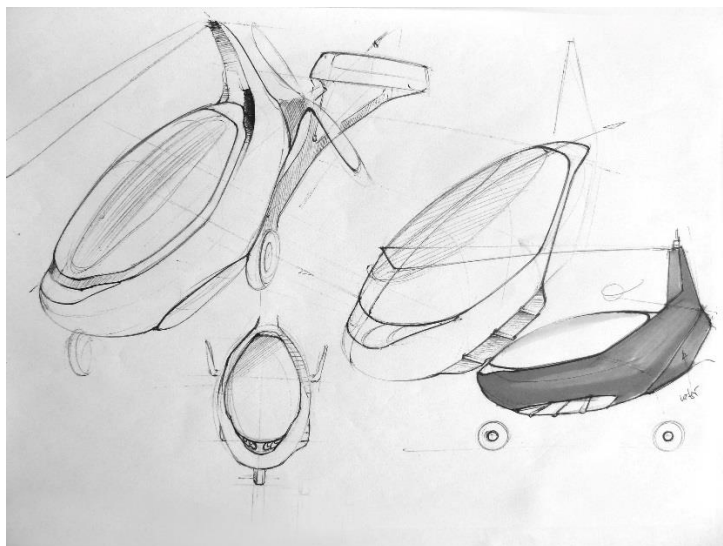
- Použít rám MTO se stávajícím motorem (možnost použít i motor nový a výkonnější).
- Nové a svěží pojetí nového modelu na již zaběhlém základě MTO Sport.
- Vtvořit vírník s vlastním a ojedinělým výrazem.
- Vytvořit zcela nové tělo vírníku z laminátu.
- Nezasahovat do ocasní části.
- Možnost sejmutí bočnic- komfortní létání i v zimním období.
- Poskytnout zavazadlový prostor.
- Pohodlné nastupování.
- Možnost navrhnout novou přístrojovou desku.
- Celkové dobré opláštění s dobrou aerodynamickou vlastností.
- Zachovat veškeré konstrukční a funkční prvky.



Obr. 46 MTO Sport

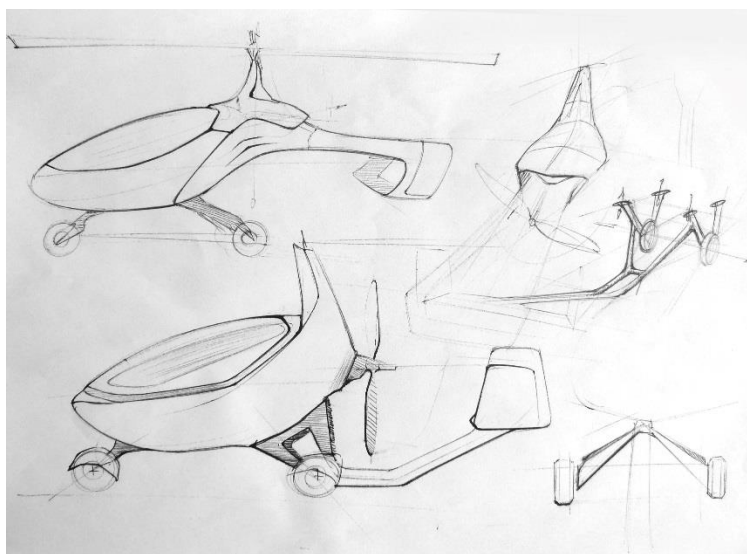
5.2 Skici

První skici se nesly v duchu zkoumání a hledání nových tvarů a principů, avšak už v první fázi skicování jsem přišel na principy, které se objevují i v mé finální variantě.

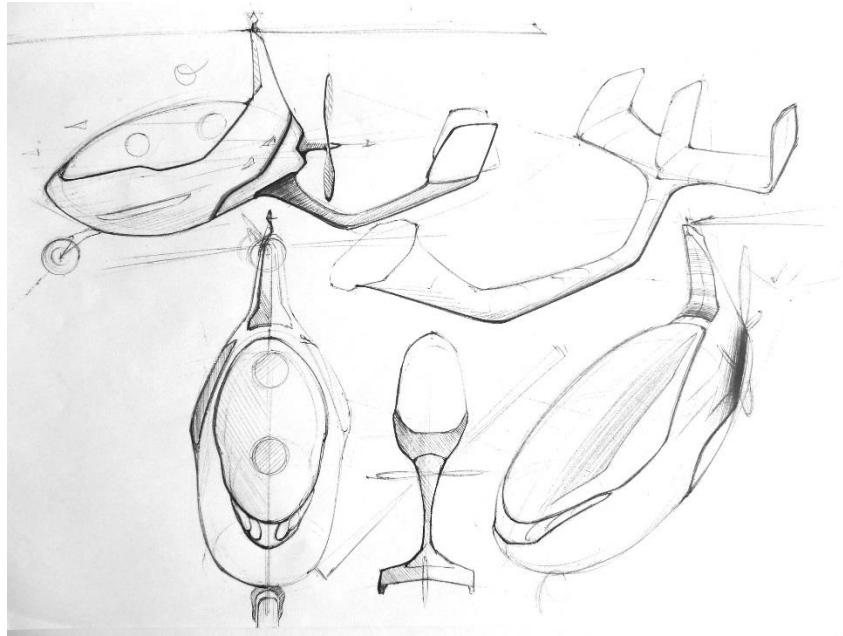


Obr. 47 Počáteční skici

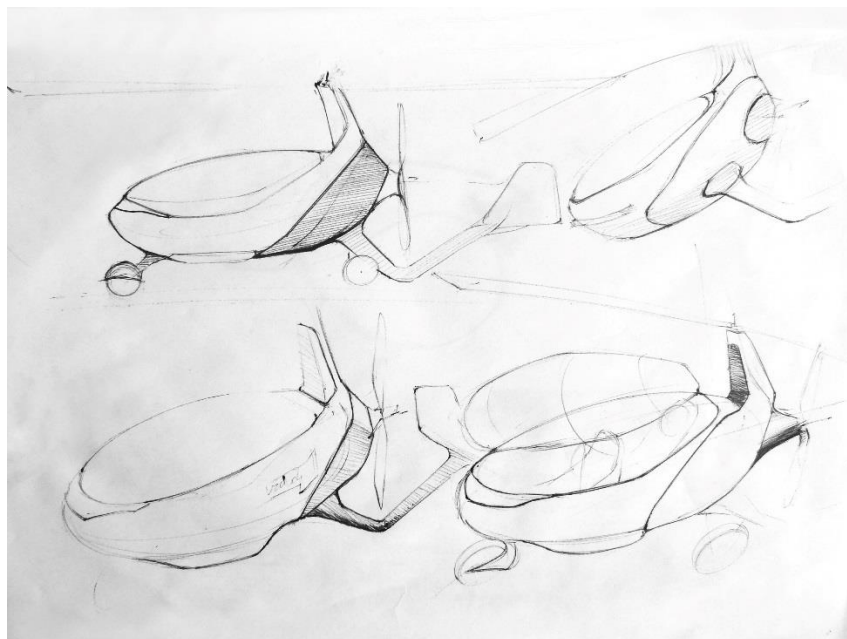
Především se jednalo o rozdělení hmoty jako takové na část kokpitu a část technickou. Tato inspirace možná vyplývá z toho, že aktuální verze MTO je kapotovaná pouze z části a motor také. Tato fáze skicování byla zcela volná, bez jakýchkoliv konstrukčních a rámových zákonitostí.



Obr. 48 Počáteční skici 2



Obr. 49 Počáteční skici 3



Obr. 50 Počáteční skici 4

Varianta ve skicích byl také nový ocas nebo kapotáž zadní části rámu. V této fázi jsem zatím nepočítal s odnímatelnými bočnicemi. Myšlenka oddělené motorové části mě začala provázet po celou dobu navrhování. V této fázi jsem se ještě až tak silně nezabýval problematikou aerodynamiky, konstrukčního a technického řešení, ale snažil se najít nové metody, tvary.

5.3 Průběh navrhování

Po první konzultaci s panem Březinou se utřídily myšlenky a začal jsem pracovat na prvním 3d modelu, který mě myšlenkově provázel po celou uplynulou dobu navrhování.





Obr. 51 První 3D model

Návrh již staví na rámu MTO s motorem Rotax. V 3D modelu se stejně jak na skicách projevuje myšlenka překrytí motoru odlišným materiálem (vizuálně) a přiznání tak technické části vírníku. Vírník tak zcela přiznává část pro posádku, která by měla tvořit jakousi komfortní zónu a rovněž zamezit hluku v kokpitu z motoru a vrtule.

Nástupovou hranu pro posádku jsem v tomto případě snížil zhruba o 10 cm, než je tomu u stávajícího modelu MTO a zaručit tak pohodlnější nástup. Má výška činí zhruba 186 cm, a i přesto jsem měl menší problém nastoupit na pozici zadního sedadla. Podruhé, když už člověk ví ,kterou nohu kam vložit jako první a čeho se chytnout, tak je nástup rychlejší, ale nemění to skutečnost, že hrana je příliš vysoko. Z hlediska ergonomie významný krok.

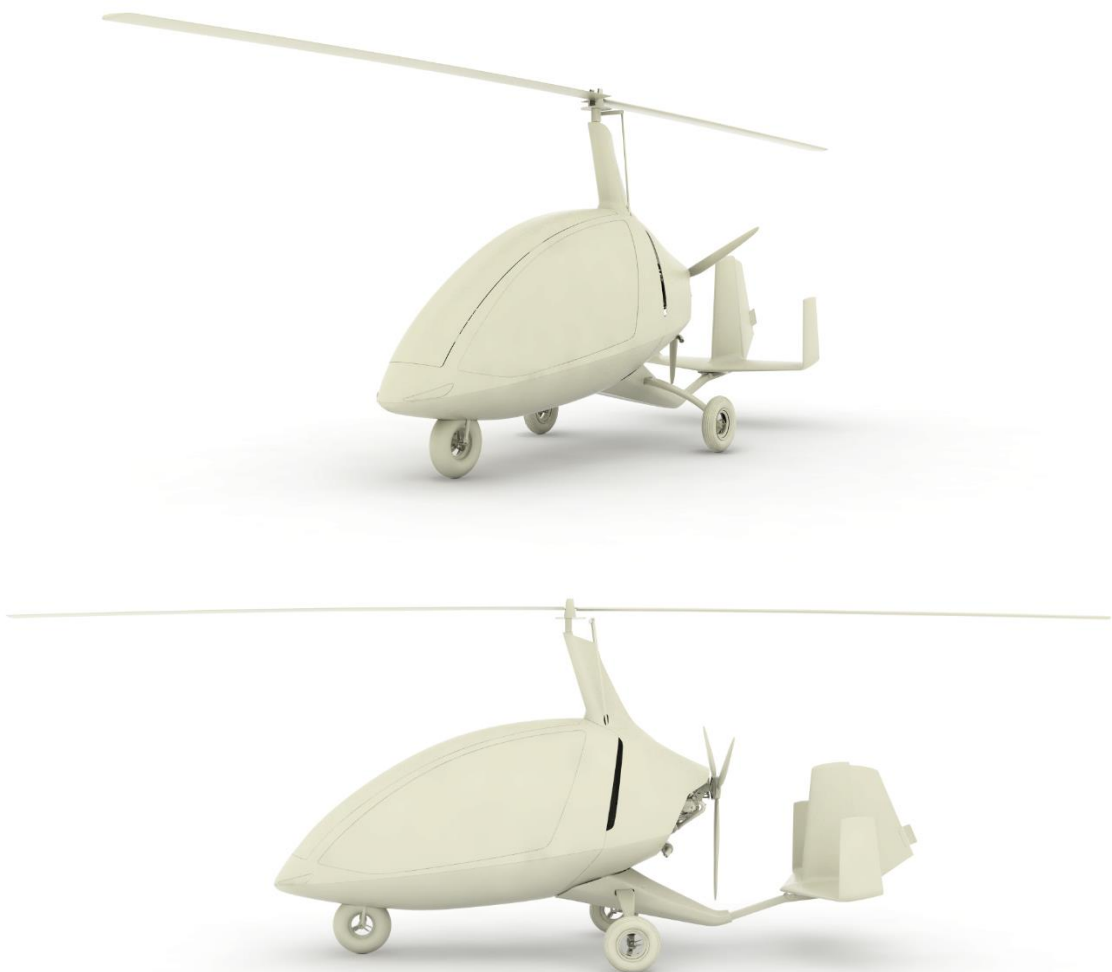
Zadní část přiznává technické zázemí, a proto je v šedých barvách (obdoba jednoduché kapotáže na motorkách). Zadní kryt by měl plnit funkci rychlé bezproblémově odnímatelné části. Tyto díly obsahují i perforace pro chlazení. Hlavní chlazení zaručuje postranní kapsa, která má přímo nasávat vzduch, který teče po boční straně vírníku.

Ocasní část je kapotovaná jednoduchými kusy laminátu a rozdělena tak, aby šla bez problému sejmout.

Celý tento návrh se nesl v duchu pouhé nahození myšlenky do 3D. Ovšem tento první návrh jak tomu už bývá zvykem, obsahoval v sobě určitou dávku zajímavého a neobvyklého přístupu v tvarování a odlišoval se od stávající produkce. Rychlá dynamika ve tvarování, překrytí technických částí, kombinace silně kontrastních barev a celkový rychlý sportovní

vzhled byly důvody, proč jsem se u dalších verzí neustále vracel myšlenkově k tomuto modelu a s novými modely nebyl zcela spokojen.

Po několika zpětných vazbách a konzultací jsem začal pracovat na návrhu novém, který se odlišoval nepatrně ve dvou verzích. Vírník ovšem po dokončení působil příliš „strože“, bez jakéhokoliv výrazu a bez vlastní rozpoznatelné charakteristiky.



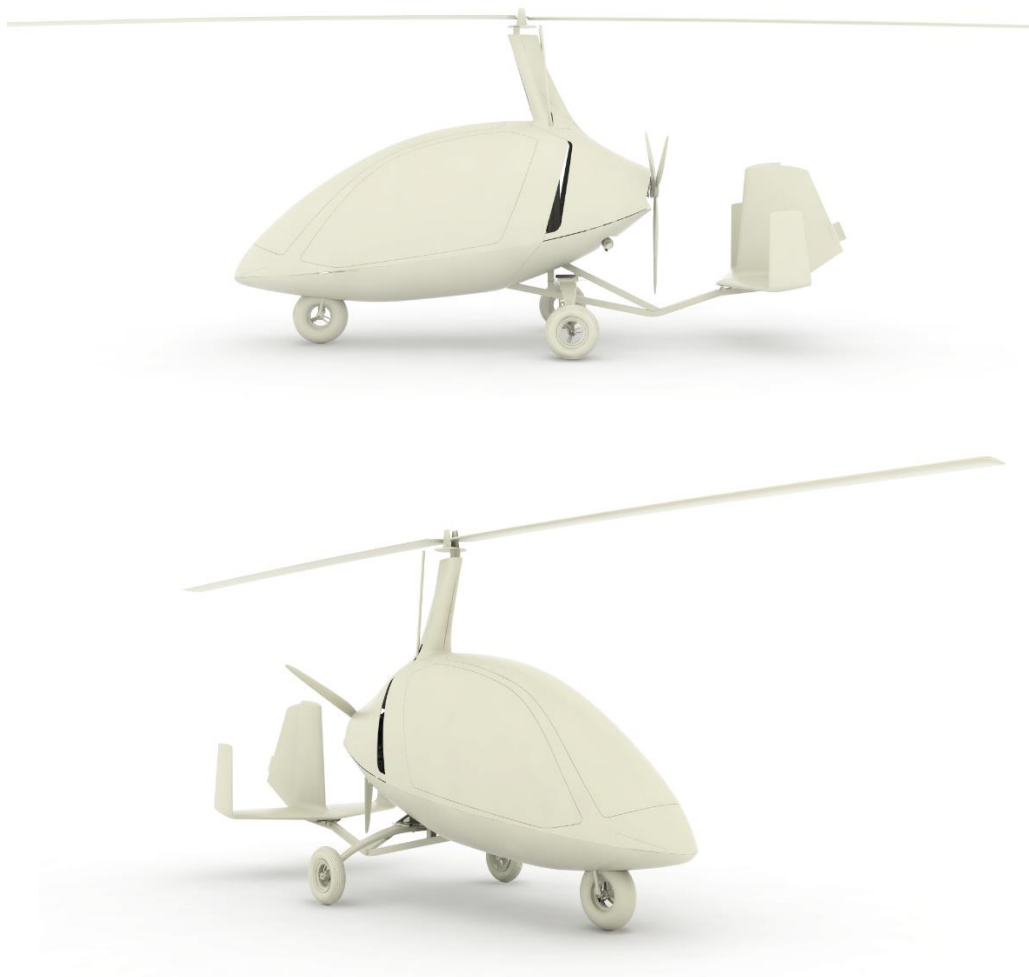
Obr. 52 Druhá varianta, 3D model

Vznikla rovněž obdobná varianta bez zakrytí ocasního rámu. Boční zlomová linie plynule začíná od přední části a plynule se zvedá pod střet tlačné vrtule. Toto rozčlenění by mělo napomáhat proudění vzduchu, avšak nyní ze zpětného pohledu po studování problematiky

aerodynamiky, takto ostrý zlom není vhodný a mohl by rovněž napomáhat Karmanovým vírům. (Str.43)

Konkrétně u vírníků tento nežádoucí jev nastává u zadní části, konkrétně u vrtule, kde takto odtržený vzduch snižuje výkon, zvyšuje spotřebu a rovněž zvyšuje hluk vrtule. Nejlepší možností je plynule tekoucí vzduch po plynulé ploše, který se v určitém místě úmyslně odtrhne.

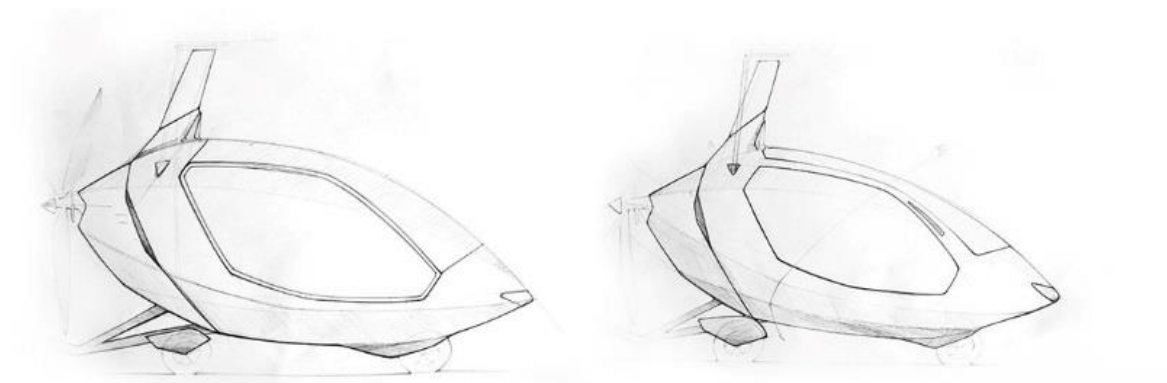
Proto jsem upustil od takto ostrého zlomu. Tento zlom jsem ovšem prakticky využil u finální verze.



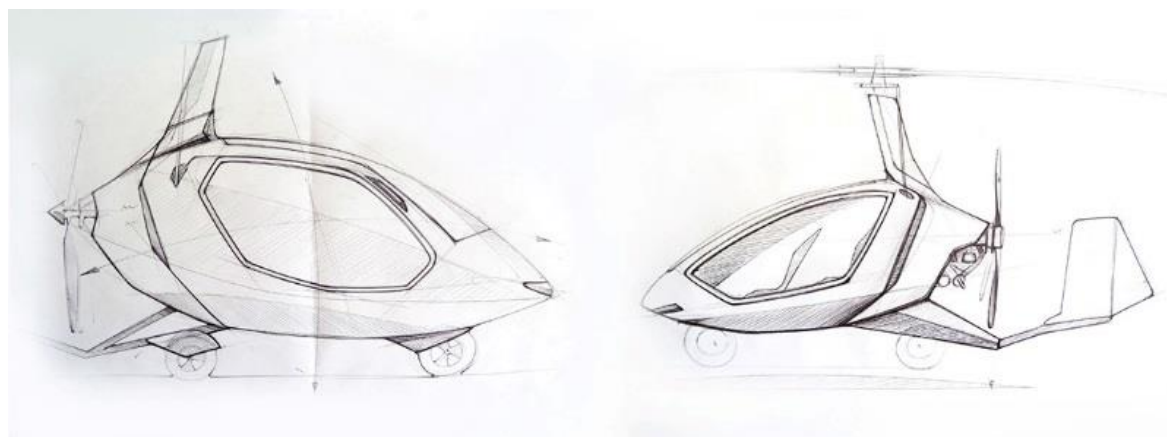
Obr. 53 Druhá varianta bez zakrytí ocasní plochy

U vizualizace výše je spodní část vírníku v dobrém sklonu, chybí však dostatečné ukončení plochy v dostačujícím úhlu, kde se může vzduch plynule odtrhnout a pokračovat plynule dále.

Další fází bylo opětovné skicování odlišností na jednotlivých nových modelech a zároveň užití všech výrazných dosavadních prvků v ploše i ve tvarování, které jsem využil u přecházejících modelů. Vzniklo tak několik dalších desítek skic.

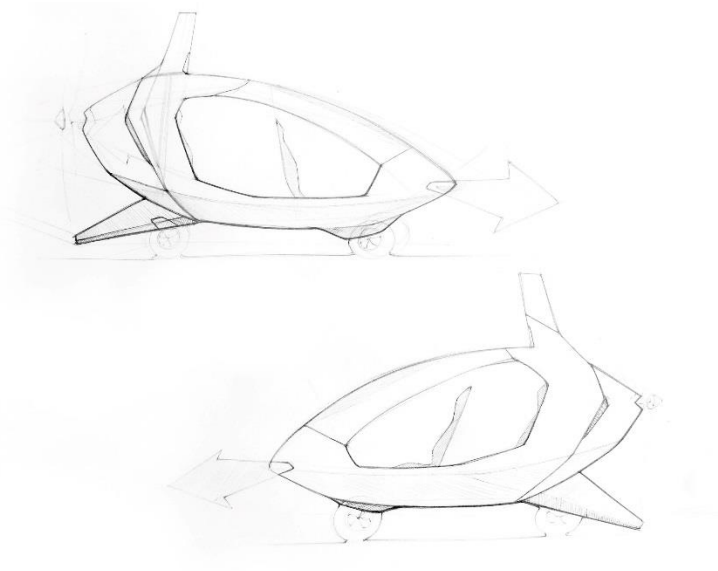


Obr. 54 Prokreslení variant ve skicách



Obr. 55 Prokreslení variant ve skicách 2

Určitým bodem tápání se stal další model, který propojoval jednotlivé nápady a prvky z modelů minulých. V této fázi navrhování jsem si začal uvědomovat, že se začínám soustředit až moc na plynulý tok křivek a jejich návaznosti, až jsem přestal vnímat celkový návrh, dobré rozvržení plochy vycházející především z aerodynamického a funkčního hlediska.



Obr. 56 Ideová skica pro nadcházející 3d model

V této variantě jsem ještě počítal se zakrytím rámu pod motorem. Zde se už také objevují první náznaky částečného překrytí předního kola a dělení laminátových dílů pylonu a motorového prostoru, které využívám i v modelu finálním. U modelu však nastaly otázky, jak kvalitně zajistit bočnice bez použití postranního sloupku a také smysluplné dělení zadní stavby vírniku. Z bočního pohledu lze nalézt chyby i v celkové hmotě plochy.



Obr. 57 Třetí varianta ve 3D, boční pohled



Obr. 58 Třetí varianta

Po tomto modelu následovalo prezentování na letišti a možnost prohlédnout si odstrojený vírník a načerpat nové nápady pro model, který se již téměř stával finálním.

Po dlouhou dobu se model uvedený níže, stal na jistou dobu, modelem finálním. S tímto modelem jsem však však nebyl zcela spokojený.



Obr. 59 Vizualizace jednoho z finálních řešení



Obr. 60 Boční pohled

Celý vírník už neměl takový dravý a sportovní charakter jako vůbec první návrh a navíc jsem se začal až příliš omezovat výrobními hledisky, které mi vizuálně ubíraly na přitažlivosti. Po konzultaci s vedoucím práce MgA. Martinem Surmanem, ArtD., jsme dospěli k několika chybám, kterých jsem si byl vědom, více charakterizovat dělení ploch, křivky, atd. V této variantě se také vyskytuje už plně zabudovaný sloupek pro celkové zpevnění skořepiny a bočnic.

Následovalo asi měsíční období, kdy jsem neustále předělával model a doslova si hrál s rozdělením laminátu, tak aby vyhovoval požadavkům na rychlou demontáž a výrobu. Model už neměl žádný charakter a ani se nijak zásadně nepodobal verzi uvedené výše.

Avšak významnou měrou mi pomohlo vyzkoušet si výrobu zmenšeného modelu MTO v měřítku 1:3 z laminátu, kde jsem více vnímal tvar a celkovou plochu a také možnost strávit více jak půl dne na letišti a možnost proletět se v nekapotované verzi MTO. Okamžitě jsem pochopil na vlastní kůži jaké to je letět 300 metrů nad zemí rychlostí 180 km/h nebo v opačném případě metr nad zemí, klesat ve spirále s nakloněným bokem vírníku nebo se zase prudce zvedat, letět bokem, nebo se mírně zastavit a pozvolna padat k zemi. Také jak silný vítr je už v mírných rychlostech a jak i člověk s vytaženými rukama dokáže korigovat směr letu. Rovněž jsem získal další poznatek o absenci jakéhokoliv úložného prostoru. Všechny postřehy jsem rychle nasál, prokonzultoval další nápady s panem Březinou a navzdory šibeničnímu času jsem vytvořil vírník nový, který si zachovává důležité momenty z vírníků

předchozích, ale stává se daleko více funkčním se všemi prvky a daleko více sofistikovanějším, s vlastním velice sportovním charakterem.



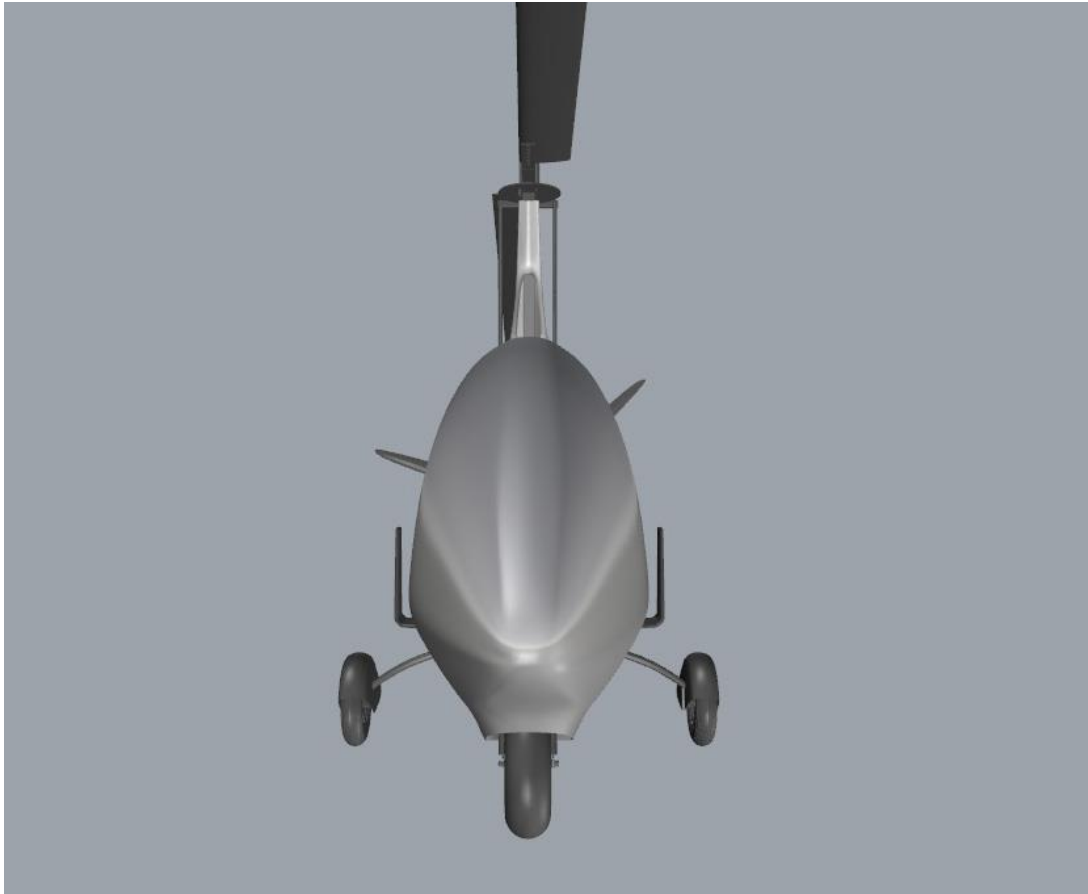
Obr. 61 „The sky is the limit“ (Foto z letu vírníkem MTO Sport)

5.4 Vývoj finálního modelu

Začal jsem vytvářet zcela novou čistou plochu, která by již měla zohledňovat proudění vzduchu a měla správný boční profil.



Obr. 62 Modelování finální plochy



Obr. 63 přední pohled



Obr. 64 Zadní pohled

Zlom v ploše je daleko více plynulejší a navazuje od čumáku po střed osy tlačné vrtule.

5.4.1 Popis finálního modelu



Obr. 65 Finální model ve 3D

Celý vírník vychází z rychlé dynamické boční linie, která plynule začíná od přední části od světél. Je v dostatečném plynulém sklonu, který navazuje na nástupovou nízkou hranu, pro zaručení dobrého nástupu a výstupu a dále pokračuje přes motor, až k ose tlačné vrtule. Ze stejného předního bodu vybíhá druhá pomyslná linie, která se zvedá a určuje výšku menší bočnice.

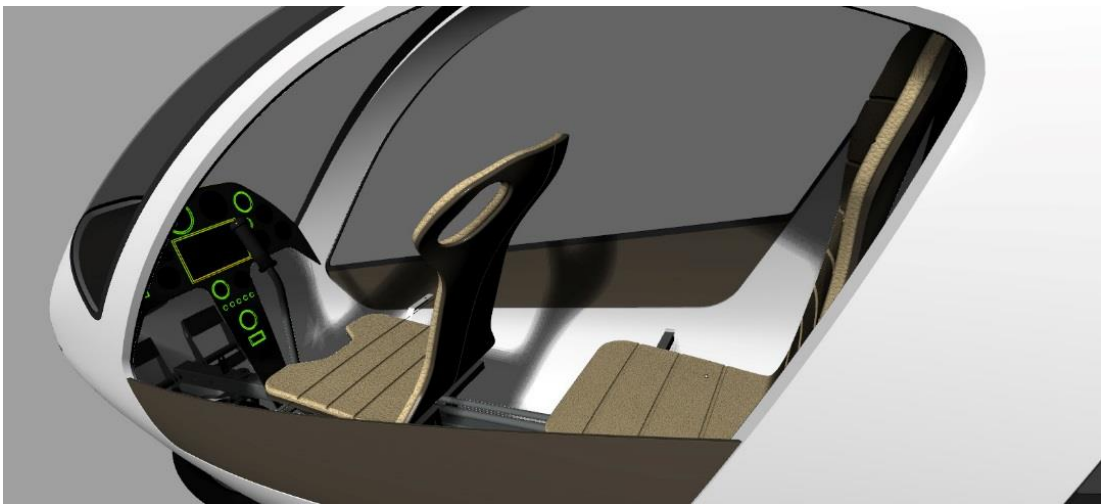
Tato bočnice plní hned několik významných úloh. Snižuje hmotnost celkového plexiskla, (samotné plexi, kromě rámu a motoru je nejtěžší materiál). Lze snadno sundat pomocí snímatelných pantů. Jedním z požadavků bylo rychlé odejmutí bočnic. Žádný složitý systém kloubů a táhel. Navíc tyto panty a rychlospojky a celkově řešení takovýchto prvků rychlými systémy mi zapadá do celkového sportovního pojetí inspirovaným sportovními disciplínami.



Obr. 66 Možnost odnímatelného pantu

Bočnice zapadá do vytvarované zkosené hrany po obvodu celé bočnice. Další významný úkol bočnice je plnit jakýsi pocit bezpečí v případě, že se poletí bez postranních plexi skel. Sám jsem měl někdy v okamžicích, kdy byl celý vírník nakloněný a pod sebou jsem viděl výšku, temno před očima. Tato bočnice by tedy měla plnit jakousi roli psychické podpory pro ty, kteří si chtějí užít let bez postranních plexi skel, ale mají určité obavy.

Na vnitřní straně těchto bočnic lze namontovat síťka pro drobné předměty.



Obr. 67 Bočnice

V neposlední řadě lze bočnice pěkně odlišit barevně a získat tak charakteristický prvek, nebo je opatřit stylovou grafikou. Bočnice řešeny z laminátu s možnou výztuží a pěnovou či polstrovanou vnitřní výplní.



Obr. 68 Boční pohled

Plynulost křivky dále přes bočnice navazuje na horní výsek motorové části a končí nad osou vrtule.

Obr. 69 $\frac{3}{4}$ pohled

Tato linie navazuje na vstup pro malé postranní chlazení (šedá část překrývající motor) a vytváří tak typické zakřivení hokejky. Až v případě testování by se určilo zda má smysl, či nikoliv.

Bočnice mohou být pojištěny rychlozámkem či systémem podobným přezce.



Obr. 70 Možnost pojistného zámku



Obr. 71 Přezka

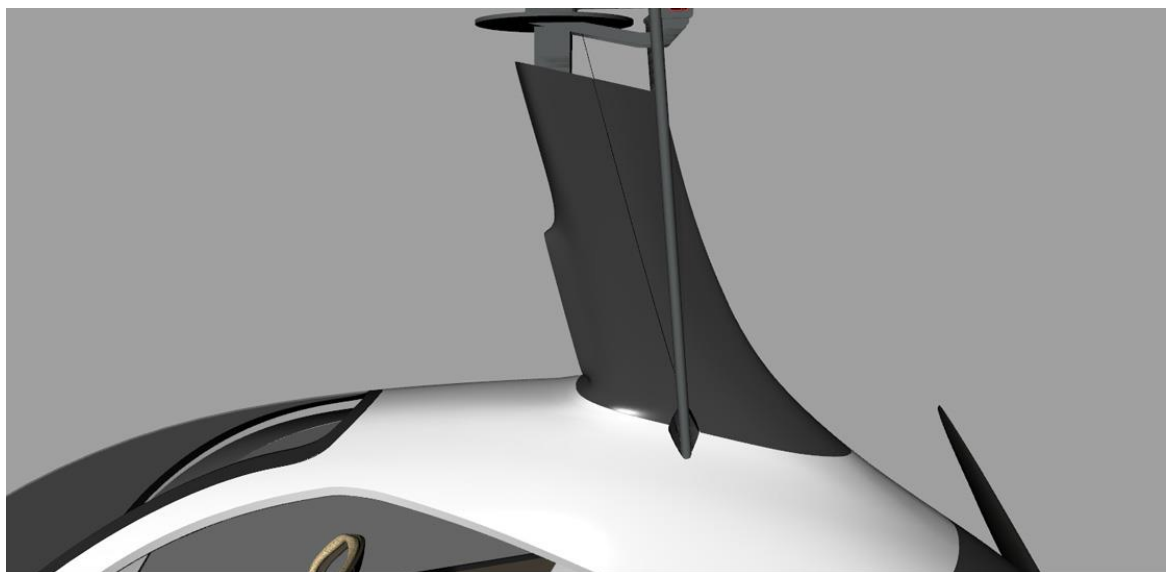
Vše šroubeno přímo na plochu plexi, či laminátu.

Samotné bočnice z plexi jsou po obvodu opatřeny těsnící gumou.



Obr. 72 ¾ pohled

Čelní sklo pokrývá dostatečnou plochu, aby viděl jak pilot, tak osoba za pilotem. Postranní sloupky by měli zaručit celkové dobré vyztužení celé skořepiny, ale i bočnic a vsazeného čelního skla. Celá skořepina by byla tvořena ze dvou částí a posléze spojené k sobě.



Obr. 73 Pylon

Pylon je tvořen ze dvou kusů laminátů tak, aby šel dobře namontovat. Celková plocha plynule navazuje na skořepinu a zaručuje čistý průtok vzduchu.

Otvor v pylonu by měl být dostatečně velký pro nasátí potřebného vzduchu, a je mírně odsazený od bílé plochy kvůli tomu, aby nenasával drobné víry vzniklé na povrchu skořepiny.



Obr. 74 Nasávací otvor v pylonu

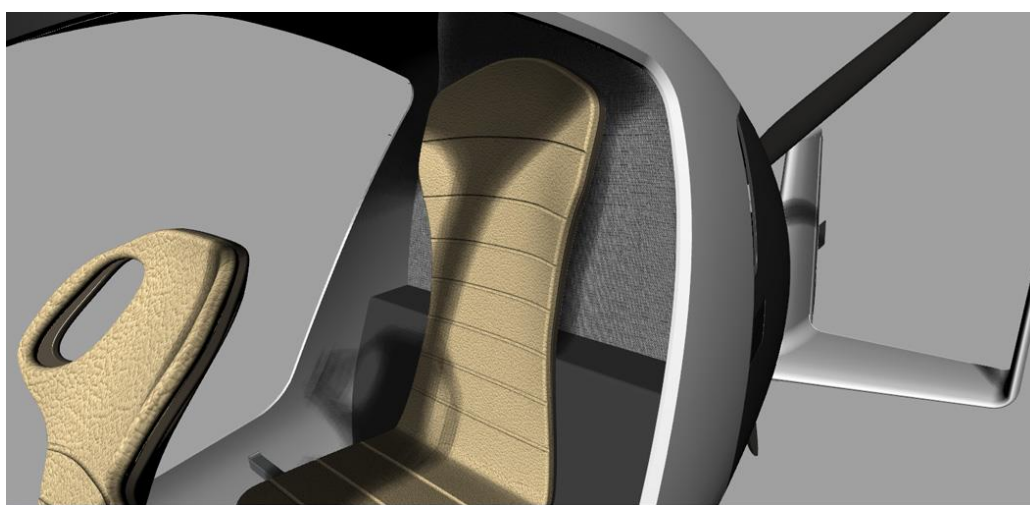


Obr. 75 Bez bočnic

Nádrž jsem umístil za sedačku zadního sedadla a mírně zasahují do motorového prostoru nad osu zadních kol. Víko je vyvedeno do zadní části. Zadní stěna je zalaminovaná plátem tak, aby se zamezil z části přísun hluku do kabiny.

Zde se mi nabízí možnost krásně využít prostor nad nádrží pro umístění sportovní sítky pro drobnější batohy. Do této sítky by se měla osoba na zadním sedadle dostat i se zapnutými bezpečnostními pásy. Velký prostor pro větší batohy atd. je umístěny pod zadní sedačkou. Rovněž důležitý moment spočívá v možnosti uchycení zadní osoby pomocí výřezů na pilotově sedačce. Momentálně je tento problém řešen chycením za pilotovy bezpečnostní pásy. Pomohou především v rychlém stoupání a klesání a naklánění vírníku.

Tyto výřezy poslouží i při nástupu a výstupu.



Obr. 76 Detail prostoru za zadní sedačkou nad nádrží

Rovněž uvažuji nad umístěním drobné sítky na zadní straně pilotovy sedačky, pro okamžité odložení a pevné zafixování věcí jako např. foťák, mobil.



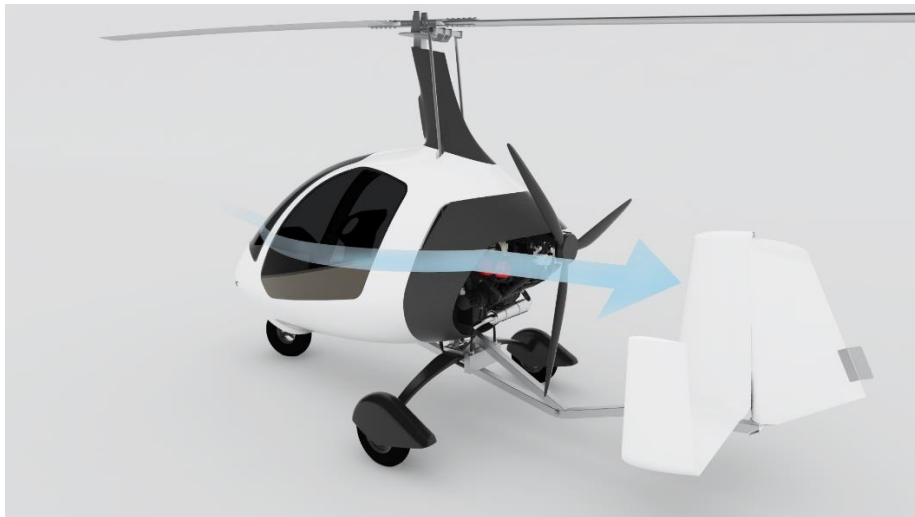
Obr. 77 Zadní část

Zadní část je rozdělená na dva díly, které by měly zaručit rychle sejmutí a opravení motoru, či jeho údržbu.

Celkový vírník díky všem těmto úpravám a změnám dostal ryze sportovní charakter a zapamatovatelný výraz, a to vše v propojení s funkčností bez zbytečných prolisů, ploch sekání a křivek.

5.5 Schéma správného proudění vzduchu

Veškeré mé snažení se ubíralo směrem, aby vzduch plynule obtékal celou plochu vírníku a ve správném místě na hraně se odtrhl a pokračoval plynule dál. Toto jsou ovšem pouze mé domněnky a pocity. Správnost teorie ukáže až testování.

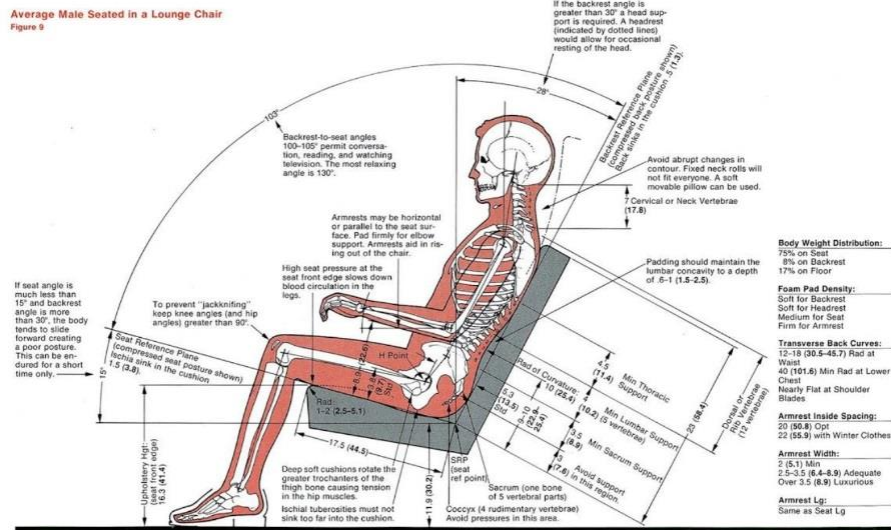


Obr. 78 Zadní pohled prouděného vzduchu



Obr. 79 Zadní pohled prouděného vzduchu

5.6 Ergonomie



Obr. 80 Správný posed člověka

Posed by měl zaručovat dostatečný prostor pro uložení nohou a pohodlné sezení. Rovněž musí zaručit, že pilot bez problému uchopí knipl a dosáhne na ovládací prvky. Správné sezení pilota lze charakterizovat i názorným obrázkem výše.



Obr. 81 Boční pohled na figuríny na sedadlech



Obr. 82 Boční pohled na figuríny

Nástupová hrana je snižená oproti minulému modelu zhruba o 10 cm pro lepší nástup. Celkový dolní výřez bočnic by měl zaručit dobrý nástup i výstup, není ovšem vyloučeno, že se ještě tento výřez lehce pozmění.



Obr. 83 Schéma výhledu ze zadní sedačky

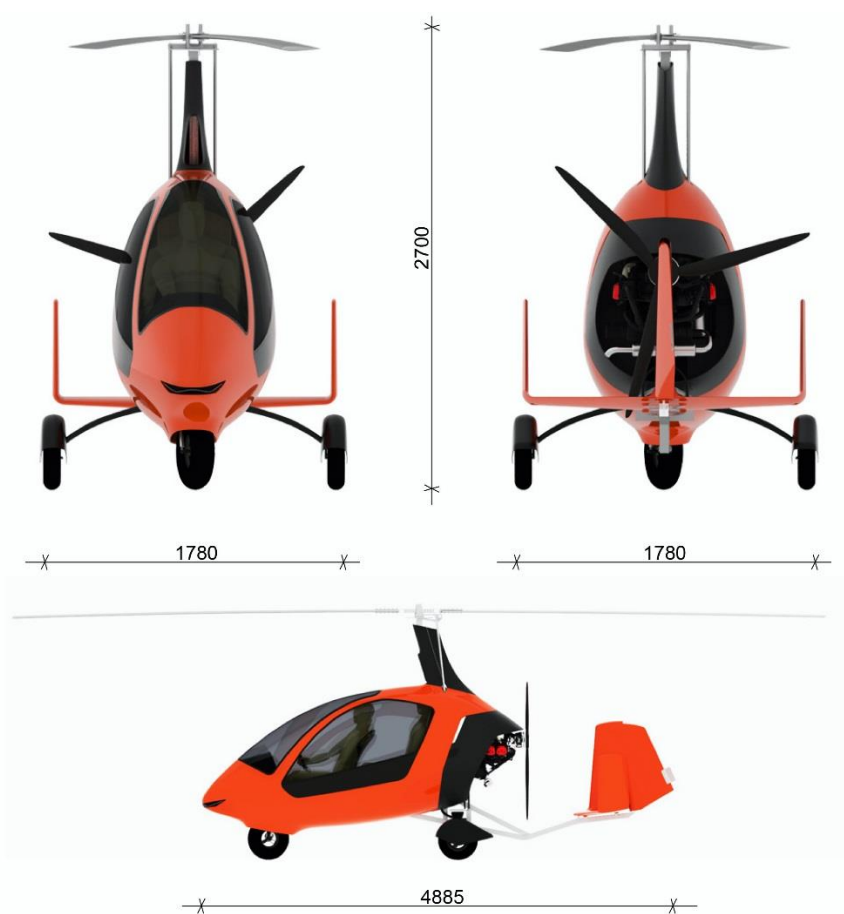
Výhled by měl pilotovi poskytnout dostatečný výhled i přes postranní sloupky. Osoba za pilotem má přední výhled omezený, ale boční výhledy by měly poskytnout kvalitní výhled, a to i v případě použití malé postranní bočnice. Osoba za pilotem je navíc kryta proti silnému slunečnímu slunci střešou, která končí zhruba za pilotovou hlavou a plynule přechází do čelního plexi skla.



Obr. 84 Detail interiéru

Celkový interiér by měl zaručit v první řadě pohodlí a dostatek úložného prostoru. Kromě zmíněné velké sítě nad nádrží, plánují umístit menší kapsy na vnitřní stranu bočnic jak pro pilota, tak pro zadního pasažéra. Pohyb v bezpečnostních pásích je celkem omezený, tudíž chci maximálně využít volný prostor, který se nabízí a na který lze s pásy dosáhnout.

5.7 Rozměrový výkres



Obr. 85 Rozměrový výkres

5.8 Finální vizualizace



Obr. 86 Finální vizualizace



Obr. 87 Finální vizualizace

ZÁVĚR

Tento projekt byl a pevně věřím, že stále ještě bude jedním z mých vůbec nejzásadnějších přínosů pro mou tvorbu vůbec. Po celou dobu jsem měl možnost naučit se hodně novým věcem. V oblasti technologie, technologických postupů, zpracovávání kompozitů, laminování, jsem získal vědomosti, které se nedají vyčíst, ale člověk si je musí vyzkoušet a především pochopit je.

Nejednalo se ale pouze o technologie. Dostal jsem také možnost poznat nové lidi, kterých si nyní velice vážím a u kterých lze krásně vidět spojení práce a zálib.

Rovněž i v oblasti letectví, které mě odjakživa bavilo a stále baví, tak nyní si daleko více uvědomuji problematiku litého, aerodynamiky, konstrukce a jsem nyní schopen tyto faktory daleko lépe posuzovat.

Když se zpětně zamyslím nad dobou navrhování, musím konstatovat, že celý proces prošel obrovským vývojem a to už od první skici, po jednotlivé etapy 3d modelů, až po model finální.

Cítím radost z odvedené práce a finálního modelu, ale trochu i smutek, že osoba, která mi vnukla nápad spolupracovat na tomto projektu, už výsledek neuvidí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] What is a Gyroplane?. [Http://americanautogyro.com/](http://americanautogyro.com/) [online]. 2003 [cit. 2015-05-01].
Dostupné z: <http://americanautogyro.com/products.php>
- [2] Vírník - jednoduše geniální [online]. online [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.autogyro.cz/>
- [3] The History of the Autogiro and Juan de la Cierva – Father of the Autogiro (Autogyro). <Http://autogyro-australia.com/> [online]. online [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://autogyro-australia.com/history/>
- [4] Short History [online]. online [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: http://www.magnigyro-nordic.com/GyroNordic/Short_History.html
- [5] A Glass Autogyro From Start To Finnish. <Http://www.saunalahti.fi/> [online]. 1998 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.saunalahti.fi/jtki1/jt5gyroplan.html#anchor511489>
- [6] M24 Orion – se dvěma sedadly vedle sebe. <Http://www.magnigyro.cz/> [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.magnigyro.cz/m24.html>
- [7] DAĐOUREK, Karel. Kompozitní materiály - druhy a jejich užití. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, 114 s. ISBN 978-80-7372-279-1.
- [8] USTOHAL, Vladimír. Letecké materiály. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1988, 130 s.
- [9] AGARWAL, Bhagwan D a Lawrence J BROUTMAN. Vláknové kompozity: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy technické. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [10] Prepreg. 2014. <Http://cs.wikipedia.org/> [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Prepreg&veaction=edit&vesection=1>
- [11] PÍŠTĚK, Antonín. Pevnost a životnost letadel. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1988, 266 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

akad.	Akademický
prof.	Profesor
soch.	Sochař
MgA.	Magistr umění
ArtD.	Doktor umění
atd.	A tak dále.
např.	Například
tzv.	Takzvaný

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Srovnání autorotace	10
Obr. 2 The Gyroplane	11
Obr. 3 The helicopter	12
Obr. 4 Rozdíl v uspořádání hnací síly	13
Obr. 5 Juan de la Cierva.....	14
Obr. 6 Cierva C.1 první vírník, tuhý rotor	15
Obr. 7 Cierva C-3, tuhý rotor.....	15
Obr. 8 Autogyro C.30 s volným uchycením rotoru	16
Obr. 9 C.30A ve službách firmy Baťa	16
Obr. 10 Focke-Achgelis Fa 330.....	17
Obr. 11 Focke-Achgelis Fa 330 na palubě ponorky	18
Obr. 12 Flettner Fl 184	18
Obr. 13 Hafner H.8 Rotachute	19
Obr. 14 B-6 Gyroglider.....	20
Obr. 15 B-8 Gyroglider (72 hp (54 kW)).....	21
Obr. 16 JT-1	22
Obr. 17 řez čepelí lopatky ATE-3 a starší JT-2.	23
Obr. 18 ATE-3	23
Obr. 19 JT-5 autogyro.....	24
Obr. 20 PIK-20E.....	24
Obr. 21 M24 Orion	25
Obr. 22 MTO Sport.....	26
Obr. 23 Calidus	27
Obr. 24 Cavalon.....	27
Obr. 25 Niki Rotor Aviation Bulharsko.....	27
Obr. 26 Apollo Ultralight Maďarsko	28
Obr. 27 Delta Trikes Aviation Francie	28
Obr. 28 Ela Aviacion Španělsko.....	28
Obr. 29 FD Composites arrowcopter Rakousko	29
Obr. 30 PAL-V Nizozemsko	29
Obr. 31 Skelné vlákno	34
Obr. 32 Uhlíková vlákna- carbon	35

Obr. 33 Aramidové vlákno	35
Obr. 34 Prepreg-carbon.....	36
Obr. 35 Ruční výroba zalitím tkaniny ve formě a zavalečkováním.	37
Obr. 36 Poloautomatická výroba zalitím tkaniny ve formě a zalisováním.....	37
Obr. 37 Poloautomatická výroba zalitím tkaniny ve formě s použitím přetlaku.	37
Obr. 38 Aerodynamický tunel IAG, UNI Stuttgart	39
Obr. 39 Civilní letoun při testování aerodynamiky.	39
Obr. 40 Zmenšený model vírníku Calidus.....	40
Obr. 41 Hliníkový rám Calidus.....	40
Obr. 42 Tělo Calidisu vyrobeno laminováním z kompozitů.	41
Obr. 43 Skořepina z laminátu pro MTO Sport	41
Obr. 44 Karmanové víry	42
Obr. 45 Testování čelního proudění vzduchu	42
Obr. 46 MTO Sport.....	43
Obr. 47 Počáteční skici	44
Obr. 48 Počáteční skici 2	44
Obr. 49 Počáteční skici 3	45
Obr. 50 Počáteční skici 4	45
Obr. 51 První 3D model.....	47
Obr. 52 Druhá varianta, 3D model	48
Obr. 53 Druhá varianta bez zakrytí ocasní plochy.....	49
Obr. 54 Prokreslení variant ve skicách	50
Obr. 55 Prokreslení variant ve skicách 2	50
Obr. 56 Ideová skica pro nadcházející 3d model.....	51
Obr. 57 Třetí varianta ve 3D, boční pohled	51
Obr. 58 Třetí varianta.....	52
Obr. 59 Vizualizace jednoho z finálních řešení	52
Obr. 60 Boční pohled.....	53
Obr. 61 „The sky is the limit“ (Foto z letu vírníkem MTO Sport).....	54
Obr. 62 Modelování finální plochy.....	54
Obr. 63 přední pohled	55
Obr. 64 Zadní pohled	55
Obr. 65 Finální model ve 3D	56

Obr. 66 Možnost odnímatelného pantu.....	56
Obr. 67 Bočnice	57
Obr. 68 Boční pohled.....	57
Obr. 69 $\frac{3}{4}$ pohled	58
Obr. 70 Možnost pojistného zámku	58
Obr. 71 Přezka	58
Obr. 72 $\frac{3}{4}$ pohled	59
Obr. 73 Pylon.....	59
Obr. 74 Nasávací otvor v pylonu	60
Obr. 75 Bez bočnic	60
Obr. 76 Detail prostoru za zadní sedačkou nad nádrží	61
Obr. 77 Zadní část.....	61
Obr. 78 Zadní pohled prouděného vzduchu.....	62
Obr. 79 Zadní pohled prouděného vzduchu.....	62
Obr. 80 Správný posed člověka	63
Obr. 81 Boční pohled na figuríny na sedadlech.....	63
Obr. 82 Boční pohled na figuríny	64
Obr. 83 Schéma výhledu ze zadní sedačky.....	64
Obr. 84 Detail interiéru	65
Obr. 85 Rozměrový výkres	65
Obr. 86 Finální vizualizace	66
Obr. 87 Finální vizualizace	66

SEZNAM PŘÍLOH

CD-ROM nosič

