



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

PŘEHLED PRINCIPŮ OVLÁDÁNÍ PODVOZKOVÝCH DVÍŘEK

OVERVIEW OF PRINCIPLES OF LANDING GEAR DOOR ACTUATING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Rajnštajn

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Mališ, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: David Rajnštajn
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: Ing. Michal Mališ, Ph.D.
Akademický rok: 2016/17

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

Přehled principů ovládání podvozkových dvířek

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte porovnání principů ovládání podvozkových dvířek letounů různých kategorií. Zhodnoťte jednotlivá konstrukční řešení podle zvolených kritérií.

Navrhněte alternativní řešení (studii) ovládání dvířek příďového podvozku pro letoun EV-55. Pro konstrukční návrh využijte 3D systém Catia V5.

Cíle bakalářské práce:

1. Přehled principů ovládání podvozkových dvířek
2. Osvojení si konstrukčních postupů v 3D prostředí (Catia, Solid Works,...)
3. Aplikace na konkrétní konstrukční uzel

Seznam literatury:

NIU C.Y.M.: Airframe Structural Design, Hong Kong Conmilit Press Ltd., 1999.

ROSKAM J.: Airplane Design, Roskam Aviation and Engineering Corporation, Kansas, 1989.

ČALKOVSKÝ A., PÁVEK J., DANĚK V.: Konstrukce a pevnost letadel, 1 a 2. díl, VAAZ Brno, 1984 a 1986.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se týká dvířek příďových podvozků u letadel. Je členěna do dvou hlavních částí. Nejprve je zařazen přehled stávajících konstrukčních řešení u různých typů letounů. Následuje konstrukční část věnovaná již konkrétnímu letadlu EV-55 Outback českého výrobce Evektor. Cílem je navrhnout úpravy a změny stávajícího řešení ve snaze navrhnout mechanismus tak, aby se část dvířek zavřela při otevření podvozku. To vše při minimálních změnách zbytku zástavby v trupu letounu.

Klíčová slova

Příďový podvozek, mechanismus otevírání dvířek, EV-55 Outback

Abstract

This thesis relates to airplane nose landing gear doors. It is divided into two main parts. At first, there it is put an overview of recent construction layouts at different airplane types. The second part is devoted to particular aircraft EV-55 Outback produced by Czech company Evektor. The aim of this work is to suggest adjustments and changes to current configuration, trying to make the mechanism open and close the door during the extension of the nose landing gear, with respect to the recent state of the fuselage and minimal changes to it.

Keywords

Nose landing gear, landing gear door actuating, EV-55 Outback

Bibliografická citace

RAJNŠTAJN, D. Přehled principů ovládní podvozkových dvířek. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 30 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Mališ, Ph.D..

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval sám pod vedením pana Ing. Michala Mališe, Ph.D. a to s použitím literatury uvedené ve zdrojích.

V Brně dne

.....

David Rajnštajn

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu panu Ing. Michalu Mališovi, Ph.D. za připomínky a rady k práci, dále pak firmě Evektor, spol. s r.o. za poskytnutí tématu práce i podkladů nutných k jejímu vypracování.

Také bych chtěl poděkovat rodině za podporu během tvorby práce i v průběhu celého studia.

Obsah

Úvod	1
1 Analýza současného řešení u EV-55 Outback	2
1.1 Základní informace o letounu.....	2
1.2 Model mechanismu příďového podvozku.....	2
1.3 Vysvětlení principu a funkce současného mechanismu	3
2 Přehled typů řešení u různých kategorií letounů	5
2.1 Kluzáky a ultralehké letouny.....	6
2.1.1 Kluzáky	6
2.1.2 Ultralehké letouny.....	7
2.2 Dopravní letouny	8
2.2.1 Malé jednomotorové letouny	8
2.2.2 Malé dvoumotorové letouny	9
2.2.3 Vícemotorové velké dopravní letouny.....	11
2.3 Vojenské letouny	12
3 Návrh alternativního řešení pro EV-55 Outback	14
3.1 Zhodnocení řešení používaných u jiných letounů	14
3.2 Uvažované varianty mechanismů.....	15
3.2.1 Táhlový mechanismus (Cessna 320)	16
3.2.2 Vačkový mechanismus	16
3.2.3 Mechanismus využívající lana.....	17
3.3 Zvolený mechanismus	18
3.4 Jednotlivé komponenty mechanismu	18
3.4.1 Hrazdy.....	19
3.4.2 Lano	20
3.4.3 Hák.....	21
3.5 Funkce celého mechanismu.....	21
3.6 Řešení dílčích problémů při konstrukci.....	22
3.6.1 Úprava rozměrů dvířek	22
3.6.2 Napínání lana	23
3.6.3 Otevření dvířek v případě údržby	24
3.7 Bezpečnostní hledisko	26
Závěr.....	28
Seznam použitých zdrojů.....	29
Seznam obrázků.....	30

Úvod

Tato práce vznikla ve spolupráci s firmou Evektor, spol. s r.o. a jejím cílem je především tvorba konstrukčního návrhu (studie) mechanismu dvírek příďového podvozku u letounu EV-55 Outback. K dispozici byl poskytnut model stávajícího řešení ve formátu .stp vytvořený v softwaru Catia V5. První fází byla analýza této sestavy a funkce mechanismu. K tomu byl opět využit software Catia V5 (studentská verze) po vložení funkčních vazeb mezi jednotlivými komponenty a možnost řízení daných vazeb pro demonstraci funkce mechanismu.

Po této analýze následoval průzkum řešení tohoto problému u různých typů letadel. Jelikož je tato problematika velmi specifická a jednotlivá řešení jsou tvořena na míru jednotlivým strojům, bylo velmi obtížné nalézt v literatuře odpovídající zdroje a odkazy. Z tohoto důvodu byla do průzkumu zahrnuta také snaha kontaktovat různé výrobce letadel, s prosbou, zda by mohli poskytnout nějaké podklady k jejich letounům. To ovšem nepřineslo úplně uspokojivé výsledky, proto následovala návštěva leteckého muzea a firmy provozující soukromá letadla za účelem vyfotografování jednotlivých mechanismů. Tyto fotografie jsou hlavním zdrojem v řešební části této práce a jako takové jsou zde v kapitole 2 publikovány.

Poslední, nejdůležitější a nejrozsáhlejší částí této práce je samotný konstrukční návrh alternativního řešení zavírání dvírek příďového podvozku u daného letounu. Součástí zadání byl požadavek na zvážení možnosti zavření části dvírek v průběhu vysouvání samotného podvozku (tzn. při vysouvání podvozku se celá dvířka otevřou a po průchodu kola se jedna jejich část opět zavře a otevřená zůstane pouze ta část, která je potřebná pro samotnou nohu podvozku). Tento návrh je pojat především jako koncept a jeho účelem je zjistit, zda je možné do již připraveného zástavbového prostoru (uzpůsobeného pro stávající jednodušší řešení) umístit nějaký mechanismus, jenž by splňoval výše uvedený požadavek. Jelikož letoun EV-55 je již ve fázi funkčního prototypu, bylo snahou co nejméně ovlivnit další části zástavby s ohledem na již vypracované a funkční celky. Tím klesá náročnost případného uvedení tohoto návrhu do praxe, jelikož by bylo zapotřebí minimálních změn oproti stávajícímu stavu.



Obr. 0.1 Evecor EV-55 Outback [1]

1 Analýza současného řešení u EV-55 Outback

V této kapitole se pojednává o letounu samotném, dále pak o stávajícím konstrukčním řešení ovládání dvířek předového podvozku. Jsou zde použity především podklady poskytnuté firmou Evektor pro účely této bakalářské práce.

1.1 Základní informace o letounu

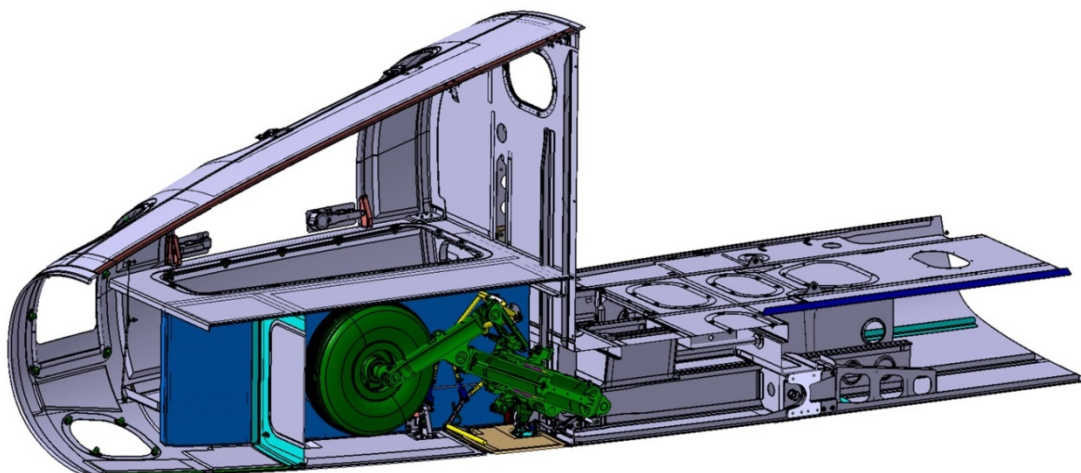
Evektor EV-55 Outback (dále jen EV-55) je dvoumotorový turbovrtulový letoun určený pro univerzální použití. Primárně je určen pro přepravu osob, kdy je schopen převést až čtrnáct cestujících, v případě komfortnější verze pak cestujících devět. Mimo cestovní verze je k dispozici i varianta nákladní, která je schopna transportu až 1776 kg nákladu, a verze kombi, která kombinuje přepravu cestujících a nákladu. Dále existují možnosti dalších speciálních variant, jako například verze s plováky, nebo výsadeková verze. [1]

Letoun se nyní nachází ve stádiu funkčního prototypu a na dvou již vyrobených kusech (jeden z nich na obrázku 0.1) probíhají letové zkoušky a měření, přičemž podle jejich výsledků se aplikují dodatečné změny.

1.2 Model mechanismu předového podvozku

Konstrukčním oddělením firmy Evektor byl vytvořen a poskytnut model zástavby předového podvozku EV-55. Na obrázku 1.1 můžeme vidět řez tímto modelem a předový podvozek (vyznačen zeleně) společně s celou přední částí letadla.

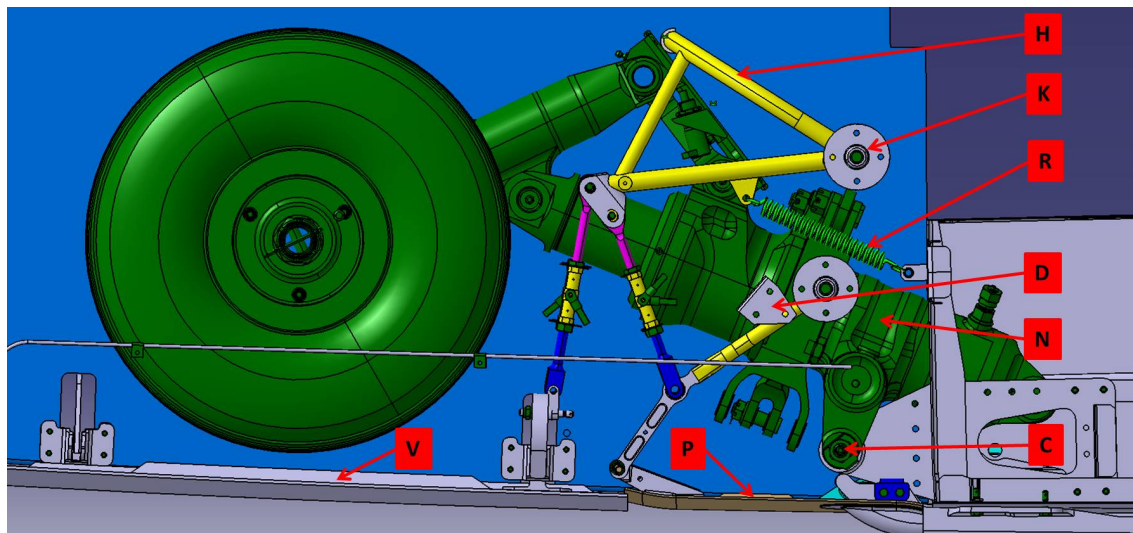
Na tomto modelu byla provedena analýza současného stavu z kinematického hlediska a také určení funkce jednotlivých komponent v průběhu otevírání podvozku. Ta bude vysvětlena dále.



Obr. 1.1 Model zástavby předového podvozku - řez

1.3 Vysvětlení principu a funkce současného mechanismu

Z poskytnutého modelu byly nejprve odstraněny komponenty nepotřebné k analýze kinematiky mechanismu, případně bránící v pohledu na samotný mechanismus. Na obrázku 1.2 vidíme již samotný mechanismus včetně názorného zobrazení jednotlivých součástí.



Obr. 1.2 Zobrazení mechanismu a jeho součástí

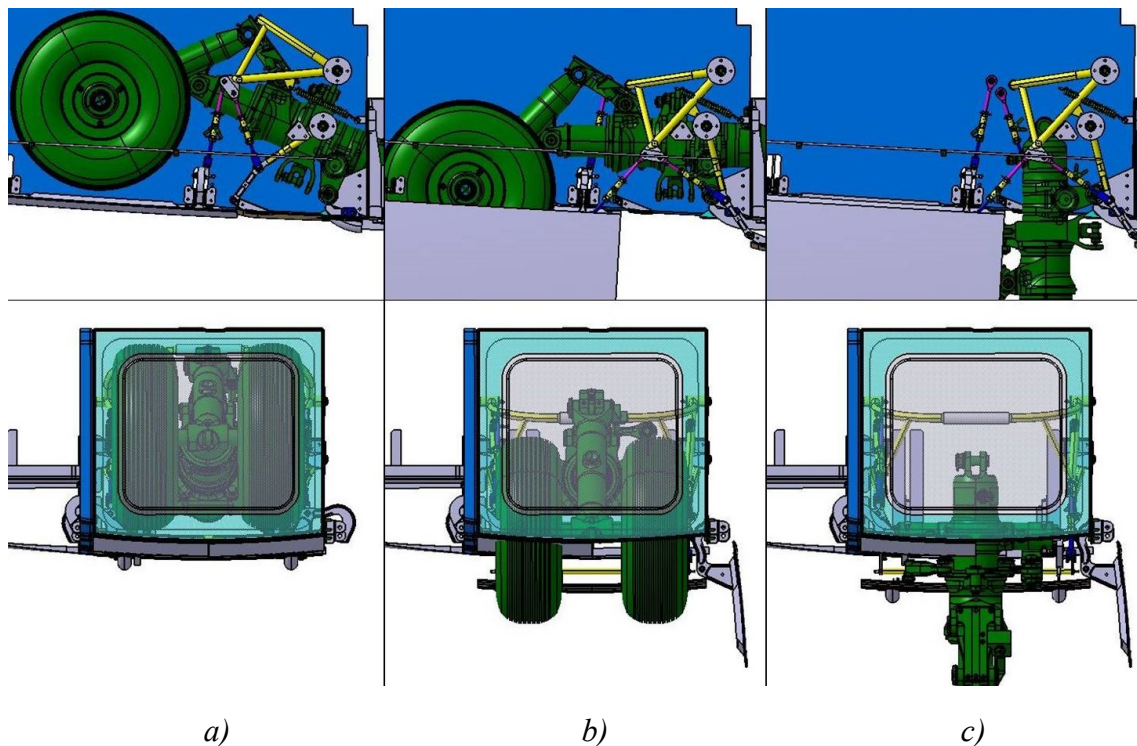
Nyní je nutné uvědomit si, jak vlastně celý mechanismus funguje. Zeleně je zde vyznačen samotný příďový podvozek N. Ten se celý otáčí kolem čepu C, kterým je spojen se závěsem v přední části trupu (vyznačen šedě v pravé spodní části). Při vysouvání se pohybuje proti směru hodinových ručiček. Tento pohyb je způsoben hydraulickým aktuátorem (na obrázku není vyobrazen), který je připevněn k noze podvozku v místě částečně skrytém právě závěsem pro kloub. Ten ovšem není v tuto chvíli podstatný, důležitý je především pohyb jím způsobený. Dále na obrázku vidíme dvířka podvozku. Ta se skládají ze tří samostatných částí, tedy ze dvou výklopných ploch V (vyznačeny šedě v levé spodní části) symetrických podle svislé roviny procházející od příde k zádi, které se vyklápí kolem kloubů, a jedné posuvné části P (vyznačena hnědě), která se posouvá po kolejničkách v pravém spodním rohu obrázku.

Dále se již přesuneme k mechanismu ovládání dvířek (popsána je zde pouze jeho levá část, pravá je symetrická). Jeho nejvýraznější součástí je hrazda H (vyznačena žlutě v horní části obrázku), která se otáčí kolem kloubu připevněného k boční stěně šachty K (šedý se zeleným středem). Ta se svou horní částí opírá o plochu na noze podvozku k tomu určenou a při otevírání dvířek po ní klouže. Její kontakt s kluznou plochou zajišťuje pružina R (zde světle zelená), která ji k ní přitlačuje. Hrazda se při plném otevření dvířek opře o plechové dorazy D (zde vyznačeny šedě se třemi dírami pro šrouby). K hrazdě jsou pomocí kloubových ložisek (umožňujících kromě rotace i naklápění) připojena táhla dvířek. Ta se skládají ze tří částí (růžová, žlutá, modrá), aby bylo možné při montáži jednoduše zajistit jejich správnou délku. Tato táhla jsou již přes klouby spojena s prvky ovládajícími dvířka. V případě výklopných dvířek je táhlo připevněno přes tříosý kloub (zde realizován jako tři jednoosá spojení pomocí čepů) k háku pevně spojenému s dvířky, který se otáčí kolem kloubu, jehož osa je vodorovná a rovnoběžná s rovinou pohledu. Kolem této osy se tedy vyklápí celá dvířka. Táhlo pro

posuvná dvířka je připojeno k páce (žluto-šedá), která může rotovat kolem kloubu (šedý se zeleným středem) a na jejímž druhém konci je již přes kloub připojena konzola pevně spojená s dvířky.

V další fázi si již tedy můžeme popsat a shrnout celý průběh vysouvání podvozku. Ten se otáčí proti směru hodinových ručiček kolem hlavního čepu. Hrazda je na něj pružinou přitlačována a tlačí na táhla, která otevírají dvířka. Toto se děje až do okamžiku, kdy se hrazda dotkne dorazů (Obr. 1.3 b)). V tuto chvíli jsou již dvířka plně otevřená a pohybuje se pouze samotný podvozek a to až do úplného vysunutí (Obr. 1.3 c)).

Funkce mechanismu je srozumitelně znázorněna na obrázku 1.3, který vznikl po animaci jednotlivých vazeb vytvořených mezi výše popsanými komponenty.



Obr. 1.3 Jednotlivé fáze otevírání podvozku

Zpětné zasouvání podvozku funguje na úplně stejném principu, pouze v opačném pořadí jednotlivých operací. Celá tato analýza je nezbytná pro pochopení následujících částí této práce, jelikož poskytuje náhled do základních principů fungování podobných mechanismů. Dále na ni bude odkazováno, jelikož většina mechanismů dnes používaných u jiných typů letadel má s mechanismem zde popisovaným společné minimálně některé prvky.

2 Přehled typů řešení u různých kategorií letounů

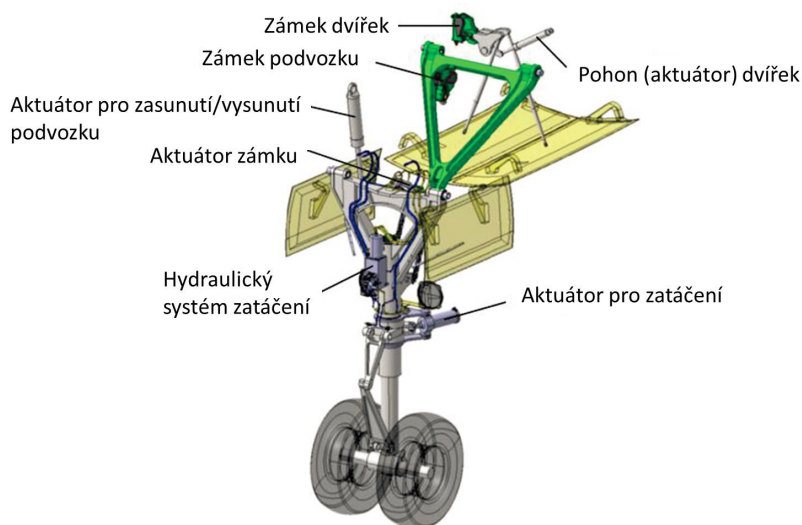
Tato kapitola popisuje různé typy principů ovládní dvířek příďového podvozku u různých kategorií letounů (pro úplnost jsou zahrnuty i kluzáky, neboť některé typy mají také zatažitelný podvozek). Jelikož je tato problematika velmi specifická a konstrukční řešení tohoto problému u jednotlivých typů letadel je záležitostí každého konstruktéra, bylo velmi obtížné sehnat podklady pro tento průzkum. Literatura o tomto tématu téměř nepojednává, a pokud ano, tak velmi obecně. Jednotliví výrobci letadel nejsou příliš sdílní, co se týče poskytování podkladů ke svým strojům, ať už ve formě fotografií nebo technické dokumentace. Většina této kapitoly tedy čerpá především z individuálního průzkumu na již vyrobených letadlech v soukromém vlastnictví nebo v muzeu. Nejedná se tedy o úplně nejaktuálnější informace, ovšem v tomto odvětví se takovýto typ konstrukce nevyvíjí příliš rychle a daná řešení bývají často recyklována i u nových typů letadel.

Příďové podvozky můžeme dle typu pohonu dělit na několik kategorií [2]:

- 1) Se zámkem polohy podvozku
- 2) S excentrickým uložením a zajištěním podvozku
- 3) Se samostatnými aktuátory pro dvířka a zámkové dvířek
- 4) Se společnými aktuátory pro dvířka a zámkové
- 5) S dvířky ovládanými pohybem podvozku

Kategorie 1) není pro tuto práci zajímavá, neboť o samotném mechanismu podvozku dvířek nám nic neříká. Kategorie 2) je podrobněji popsána v kapitole 2.1.1 na příkladu kluzáku. Kategorie 3) a 4) budou pro potřeby této práce sloučeny, neboť se nezabývá ovládním zámků pro dvířka. Poslední kategorie 5) zde bude v následujících kapitolách podrobně rozebrána, neboť většina prezentovaných příkladů včetně EV-55 spadá právě do ní.

Jelikož dále se práce bude věnovat především mechanismům s dvířky ovládanými pohybem podvozku, pro ilustraci zde nyní bude částečně popsána funkce mechanismů využívajících dodatečných aktuátorů pro pohon dvířek příďového podvozku.



Obr. 2.1 Ovládní dvířek dodatečným aktuátorem [2]

Výhodou této varianty je podstatné zjednodušení samotného mechanismu ovládajícího podvozková dvířka. Ten se může skládat prakticky pouze z (většinou hydraulického) aktuátoru a dvou táhel – pro každou polovinu dvířek jednoho. Nevýhodou je ovšem nutnost instalace onoho dodatečného aktuátoru pro dvířka a jeho synchronizace s aktuátorem vysouvání podvozku. Na druhou stranu ale toto řešení umožňuje snadnou nestandardní manipulaci s dvířky, takže je možné jejich část zavřít i při vysunutém podvozku (jak je vidět na obrázku 2.1) a podobně. To byl jeden z požadavků na návrh nové varianty pro EV-55, což je jedním z cílů této práce. Tato varianta ovšem není vhodná pro instalaci do již připravené zástavby jak je popsána v kapitole 1, protože by bylo nutné přepracovat kromě podvozkové šachty také hydraulický systém letounu. Proto s touto variantou není počítáno pro následný návrh nového řešení.

Dále již budou popisovány pouze mechanismy využívající k pohonu dvířek pohybu podvozku, které již nepotřebují dodatečný aktuátor a pracují čistě na mechanickém principu bez potřeby dalšího zdroje energie.

2.1 Kluzáky a ultralehké letouny

Jedná se o kategorii nejjednodušších a tedy také nejlevnější a nejdostupnějších letadel. Z tohoto důvodu jsou tyto typy velmi rozšířené a jejich rozmanitost je velká. Pro znázornění problematiky jsou zde použiti typoví zástupci, přičemž řešení u dalších modelů bývá velmi obdobné.

2.1.1 Kluzáky

Kluzáky nejsou podle všeobecné přijímané definice považovány za letouny, neboť k pohonu nevyužívají vlastního motoru [3]. Do tohoto přehledu jsou ovšem zařazeny také, neboť některé typy mívají z důvodu snížení aerodynamického odporu zatahovací příďový podvozek. Toto řešení bývá zvoleno především proto, že je snaha dosáhnout co nejmenšího odporu, protože k pohonu nevyužívají motor a nemohou tedy tak dobře jako motorové letouny nahrazovat takto ztracenou energii tahem motoru. Podvozek bývá tedy často řešen jako příďové kolo (pevné nebo zatažitelné) a zád'ová ostruha nebo kolečko, přičemž při přistání musí pilot do poslední chvíle udržovat rovnováhu pomocí křídélek, aby ve vysoké rychlosti nenarazil koncem křídla do země. Až při téměř úplném zastavení se letadlo opře koncem jednoho křídla o zem.

Příklad ovládání dvířek příďového podvozku je viditelný na obrázku 2.2, který znázorňuje kluzák Nimbus 2c. Na tomto obrázku jsou znázorněná otevřená dvířka, ovšem chybí zde podstatná část mechanismu – spojení mezi dvířky a konstrukcí samotného podvozku. Vidět jsou zde pouze očka, jedno na dvířkách a druhé na šikmé trubce konstrukce držící kolo podvozku. Tato očka jsou propojena buď pružinou (podobné té, co na obrázku vede od pohyblivé konstrukce podvozku dovnitř do šachty, kde je již připevněna k nepohyblivé části trupu), nebo táhlem s proměnnou délkou (viz kapitola 2.2.3 obr. 2.7).

Celý podvozek bývá ovládán ručně pákou z kokpitu, přičemž ve vysunutém (respektive zasunutém) poloze je fixován typem excentrického mechanismu s pružinou. Ten zjednodušeně funguje tak, že má dvě rovnovážné stabilní polohy (kdy má tažná pružina nejkratší délku) a při přechodu mezi nimi (proces vysouvání nebo zasouvání podvozku) je nutné pružinu natáhnout na maximální délku a překonat tak bod zvratu, za

nímž je již podvozek do požadované polohy tažen silou pružiny, která ho v dané pozici také nadále udržuje až do další změny polohy.



Obr. 2.2 Podvozek kluzáku Nimbus 2c [4]

2.1.2 Ultralehké letouny

Jedná se především o letouny určené ke sportovnímu létání, některé z nich je ale možné využít i jinak, například při vlečení kluzáků. Jedná se o nejlevnější motorová letadla, z čehož vyplývají určitá omezení. Ta jsou dána jednak předpisy nařizující maximální hmotnost a počet pasažérů, ale také snahou výrobců minimalizovat výrobní i prodejní cenu. Z těchto důvodů bývají konstrukční řešení často velmi zjednodušená, až minimalistická. To se týká také předového podvozku. Ten je v naprosté většině případů pevný, a to hned z několika důvodů. Jednak to přináší úsporu hmotnosti, která je pro tuto kategorii klíčová. Není totiž třeba dodatečných mechanismů a aktuátorů. Snížení aerodynamického odporu není v tomto případě tak zásadní, neboť ultralehké letouny již mají na rozdíl od kluzáků motor a ztracenou energii mohou opětovně získat. Je možné řešit tento problém částečným aerodynamickým zakrytím kol podvozku (Obr. 2.3). Zároveň ale nedosahují tak velkých rychlostí jako vyspělejší dopravní letouny, z čehož vyplývá, že odporová síla (která roste s druhou mocninou rychlosti) není tak velká. Úspora paliva zde není tak podstatná, neboť v případě těchto letounů se nepředpokládá tak vysoký nálet a využití. Je možné, že jedním z důvodů může být i bezpečnost, neboť získání oprávnění k pilotování letounů této kategorie je jednodušší a levnější než u kategorií vyšších a je tak možné, že pilot nebude tak zkušený, a je zde zvýšené riziko, že by na vysunutí podvozku před přistáním mohl zapomenout.



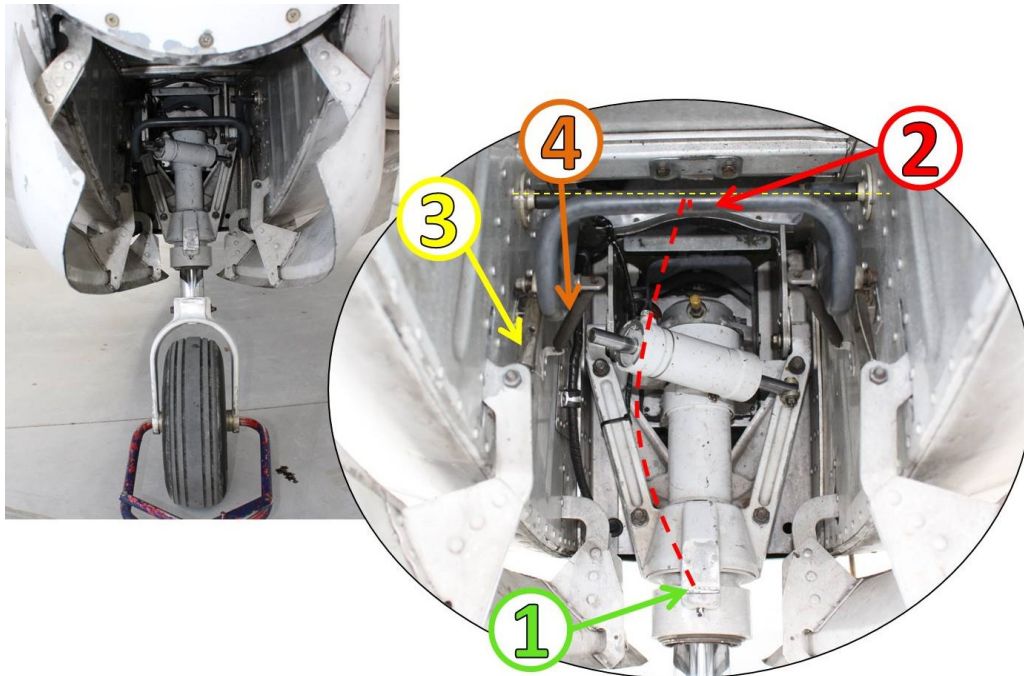
Obr. 2.3 Eektor EuroStar SL+ [5]

2.2 Dopravní letouny

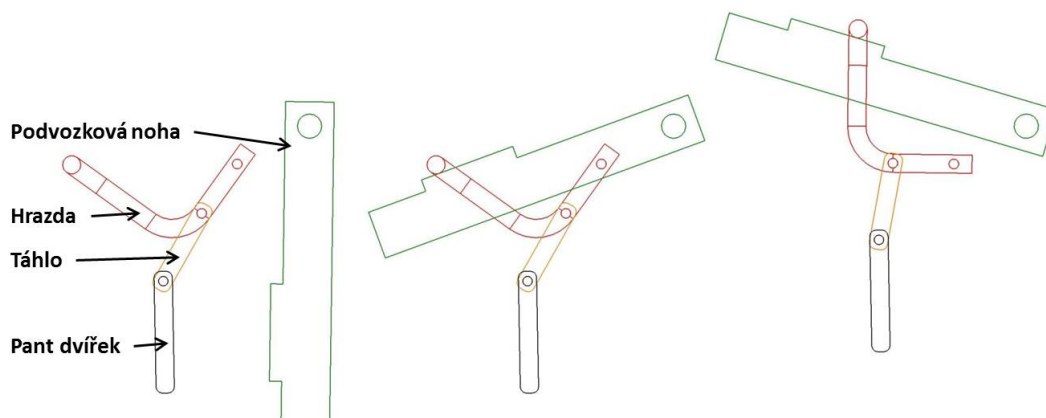
Dopravních letounů existuje velké množství druhů, lišících se na první pohled svou velikostí. Můžeme narazit na malá letadla pro čtyři pasažéry, nebo na největší dopravní letouny schopné přepravit několik stovek cestujících. Z tohoto důvodu je tedy tato kapitola členěna alespoň přibližně podle počtu motorů a kapacity pro cestující.

2.2.1 Malé jednomotorové letouny

Podobně jako u ultralehkých letadel se v této kategorii v hojné míře vyskytují pevné podvozky, jelikož přínos podvozku zatažitelného není příliš velký pro malé rychlosti letu a nízké nálety. Jelikož se ale již jedná o větší, těžší a sofistikovanější letadla, je možné narazit i na modely s podvozkem zatažitelným. Jedním z nich je například Cessna 172 RG Cutlass. Jedná se o variantu známého letounu Cessna 172, přičemž dodatečné RG v názvu značí „retractable gear“, tedy zatažitelný podvozek.



Obr. 2.4 Cessna 172 RG Cutlass - podvozková šachta



Obr. 2.5 Cessna 172 RG Cutlass - schéma pohybu mechanismu

Na obrázku 2.4 můžeme vidět pohled do podvozkové šachty tohoto letounu. Dvířka se skládají ze dvou polovin výklopných do stran kolem tří párů kloubů. Mechanismus je symetrický podle svislé roviny a stačí tedy popsat pouze jednu stranu. Jedná se prakticky o stejný princip, jako je popsán v kapitole 1 u EV-55. Úchyt dvířek k zadnímu kloubu je pomocí táhla (označeno jako pozice 3) spojen s hrazdou (pozice 2). Ta je při zavírání dvířek zvedána podvozkovou nohou (pozice 1) a otáčí se na dvou čepech kolem osy (vyznačena žlutou přerušovanou čarou). Při vysouvání podvozku je hrazda přitlačována na nohu podvozku pružinou (pozice 4) až do dotyku dorazů, které jsou na obrázku schovány za táhly. Celá funkce tohoto mechanismu je schematicky znázorněna na obrázku 2.5.

2.2.2 Malé dvoumotorové letouny

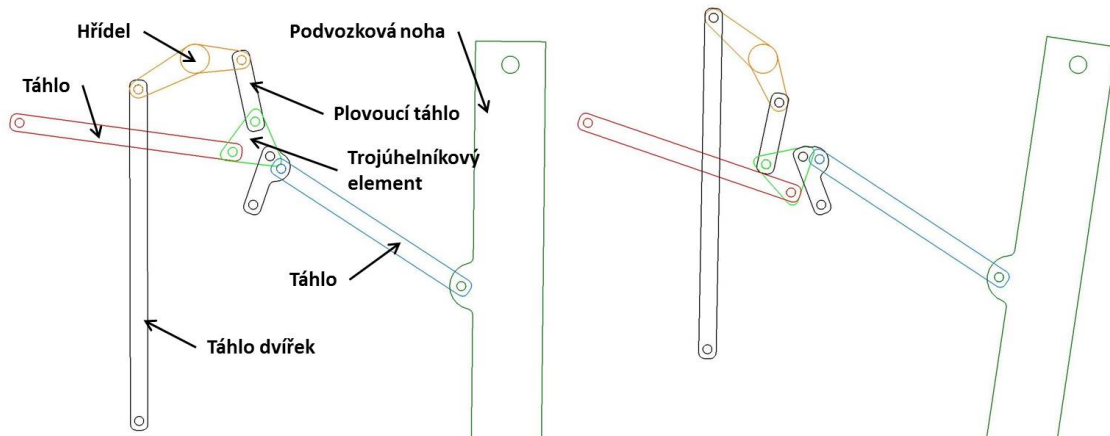
Do této kategorie spadá právě EV-55 a mechanismus popsáný v kapitole 1 by tedy mohl být zařazen jako příklad i zde. Dalšími příklady zde popsány budou Cessna 320 a Beechcraft Super King Air B300.



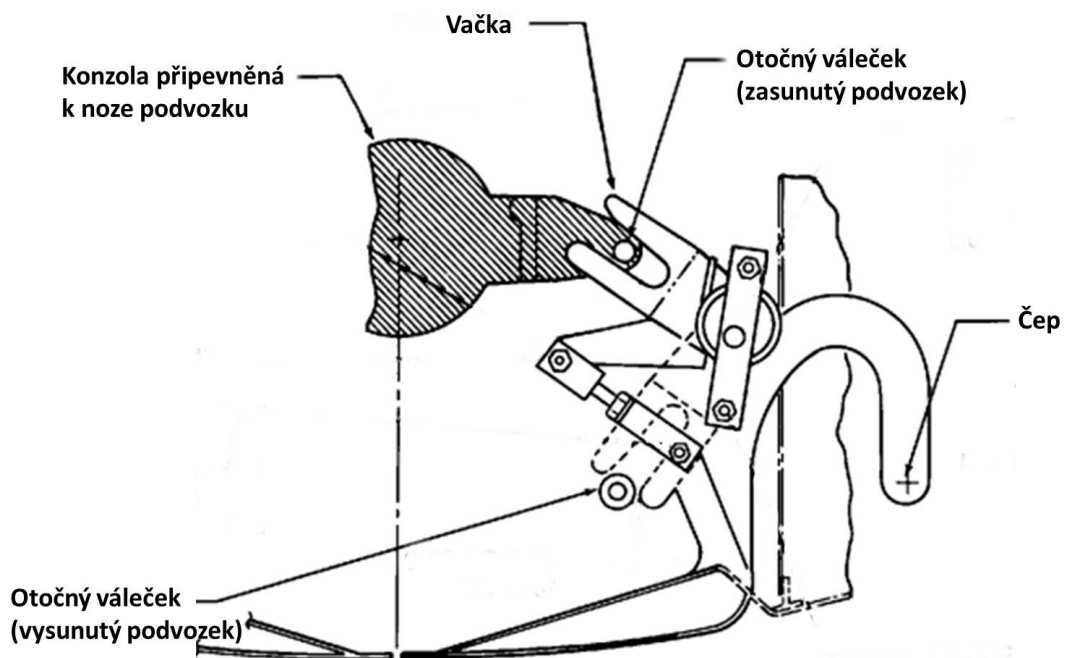
Obr. 2.6 Cessna 320

Na obrázku 2.6 vidíme letoun Cessna 320 a pohled do šachty jeho předového podvozku ve směru letu. Zde se jedná o jiný typ mechanismu. Princip jeho funkce je schematicky znázorněn na obrázku 2.7. Dvířka jsou stále ovládána pohybem podvozku, ale tentokrát se zde nenachází žádná hrazda, o kterou by se noha podvozku opřela. Celý systém je řešen pomocí táhel a pák. Při zasouvání podvozku se táhlo vyznačené modře posouvá směrem dozadu (respektive doleva na zvětšeném detailu). Tento pohyb způsobí, že se šedé táhlo otáčí proti směru hodinových ručiček kolem kloubu v jeho

dolní části, přičemž v horní části je připevněno k zeleně vyznačenému trojúhelníku. Červeně označené táhlo, které je k němu také připevněno, se otáčí kolem kloubu v levém horním rohu obrázku a zajišťuje tak správný pohyb zeleného trojúhelníku. Ten se díky těmto dvěma táhlům otáčí proti směru hodinových ručiček a pomocí páky k němu připojené otáčí žlutě označenou hřídel. Ta je již další pákou spojena s táhlem, které zvedá a tím zavírá dvířka. Při otevírání podvozku je postup přesně opačný. Oproti předchozímu mechanismu popsanému v kapitole 2.2.1 zde tedy chybí pružina, která by při zataženém podvozku byla napnutá a svou silou zajišťovala otevírání dvířek při vysouvání podvozku – i tento problém je zde vyřešen pevným mechanickým spojením.



Obr. 2.7 Cessna 320 - schéma pohybu mechanismu



Obr. 2.8 Schéma mechanismu u Beechcraft Super King Air B300 [6]

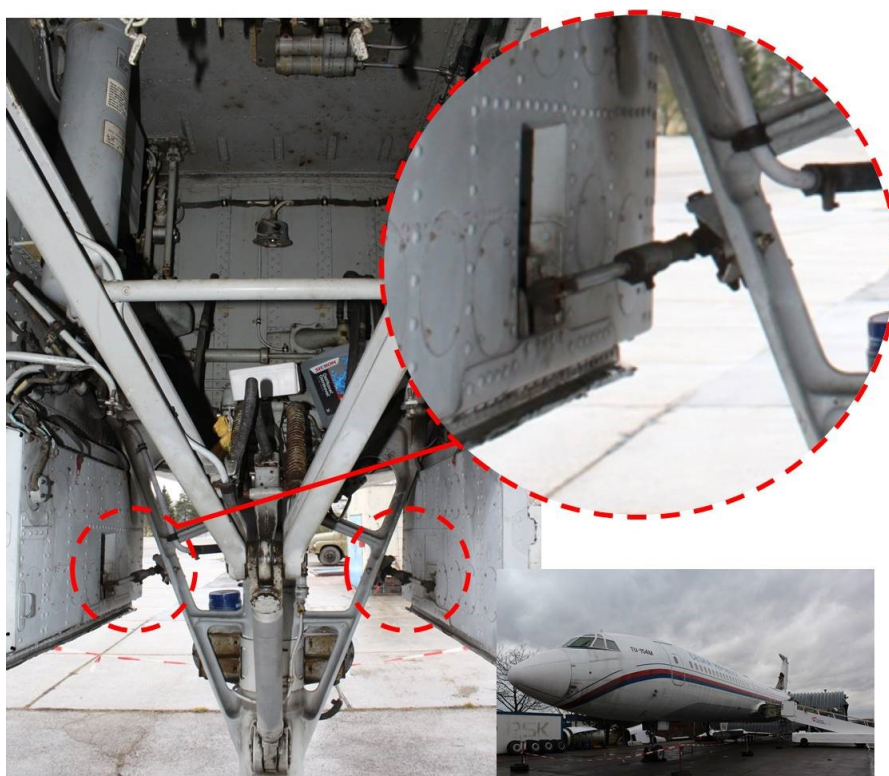
Beechcraft Super King Air B300 je dvoumotorový turbovrtulový dopravní letoun. V případě tohoto letadla je otevírání dvířek řešeno opět jiným způsobem (Obr. 2.8). Na konstrukci nohy podvozku je připevněna konzola, na jejímž konci se nachází malý otočný váleček. Ten v průběhu vysouvání podvozku zajíždí do speciálně

tvarované vačky s drážkou. Tato vačka je pohybem válečku svisele dolů uváděna do rotace, jedná se vlastně o maltézský mechanismus. Vačka je totiž spojena s hákem, který se otáčí kolem pevného čepu v trupu letadla. S tímto hákem jsou také již spojena samotná dvířka, jež se jeho pohybem otevírají. V závěrečné fázi vysouvání podvozku váleček na konzole nohy opouští drážku na vačce a dále pokračuje směrem dolů. Při zasouvání podvozku opět najíždí do drážky a celý proces se opakuje v opačném pořadí.

2.2.3 Vícemotorové velké dopravní letouny

Zde se již jedná o letadla schopná přepravit více než stovku cestujících. Tomu odpovídající je i dimenzování podvozku a jednotlivých jeho částí. Jako zástupce bude použit proudový letoun Tupolev TU-154.¹ Jelikož zde prezentovaný letoun se nachází v muzeu, byla část dvířek demontována a funkce mechanismu je zřejmá pouze u přední části výklopných dvířek (Obr. 2.9).

Tato dvířka jsou opět ovládána pohybem podvozku. Jedná se o spojení dvířek s nohou podvozku pomocí táhel. Ta jsou připevněna na obou stranách pomocí kulových čepů a umožňují tak volnou rotaci. Táhla samotná mají proměnnou délku, což je zajištěno tím, že jejich konstrukce je dvoudílná a jedná se prakticky o píst zajíždějící do válce. Tento jednoduchý mechanismus funguje tak, že při zavírání podvozku se délka táhel zmenšuje až na minimum a zároveň se táhla otáčejí kolem kloubů na obou koncích. Po překonání bodu zvratu se táhla začnou opět natahovat až do okamžiku, kdy dosáhnou své maximální délky, která je zajištěna dorazem. V tuto chvíli se již společně s táhly začnou pohybovat a zavírat i samotná podvozková dvířka a to až do úplného zavření.



Obr. 2.9 TU-154

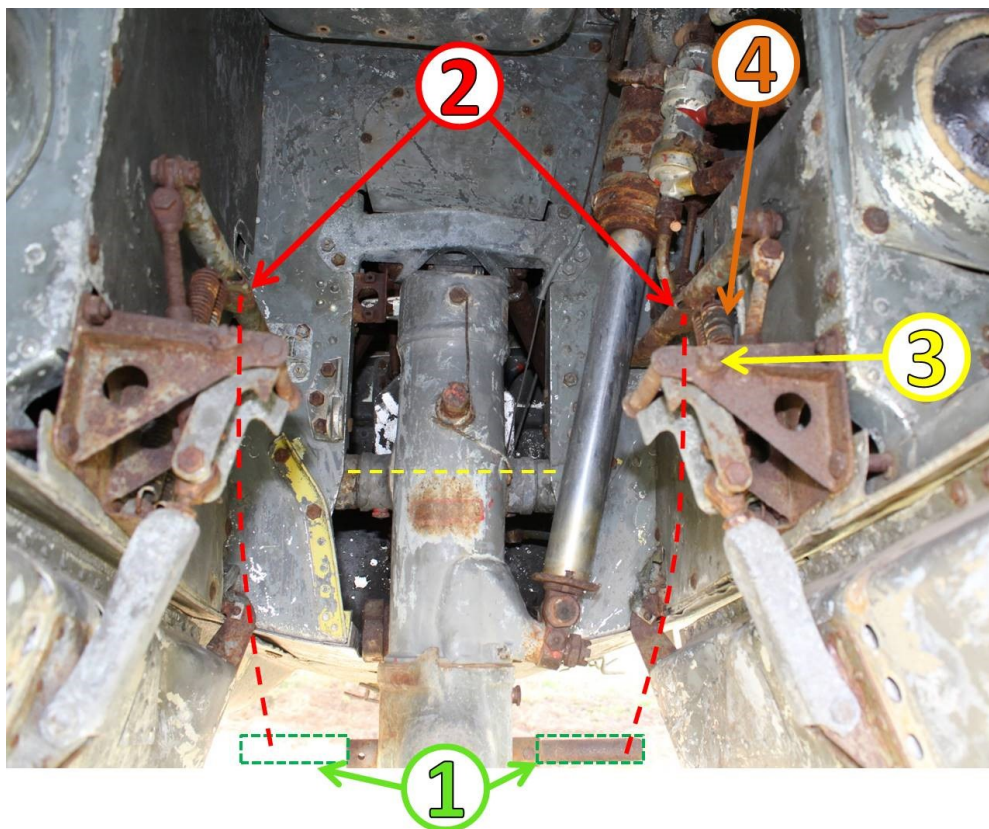
¹ Zajímavost: U tohoto konkrétního kusu se jedná o bývalý letoun vládní letky České republiky, někdy také zvaný „Naganský expres“, který je nyní převezen do Leteckého muzea v Kunovicích.

2.3 Vojenské letouny

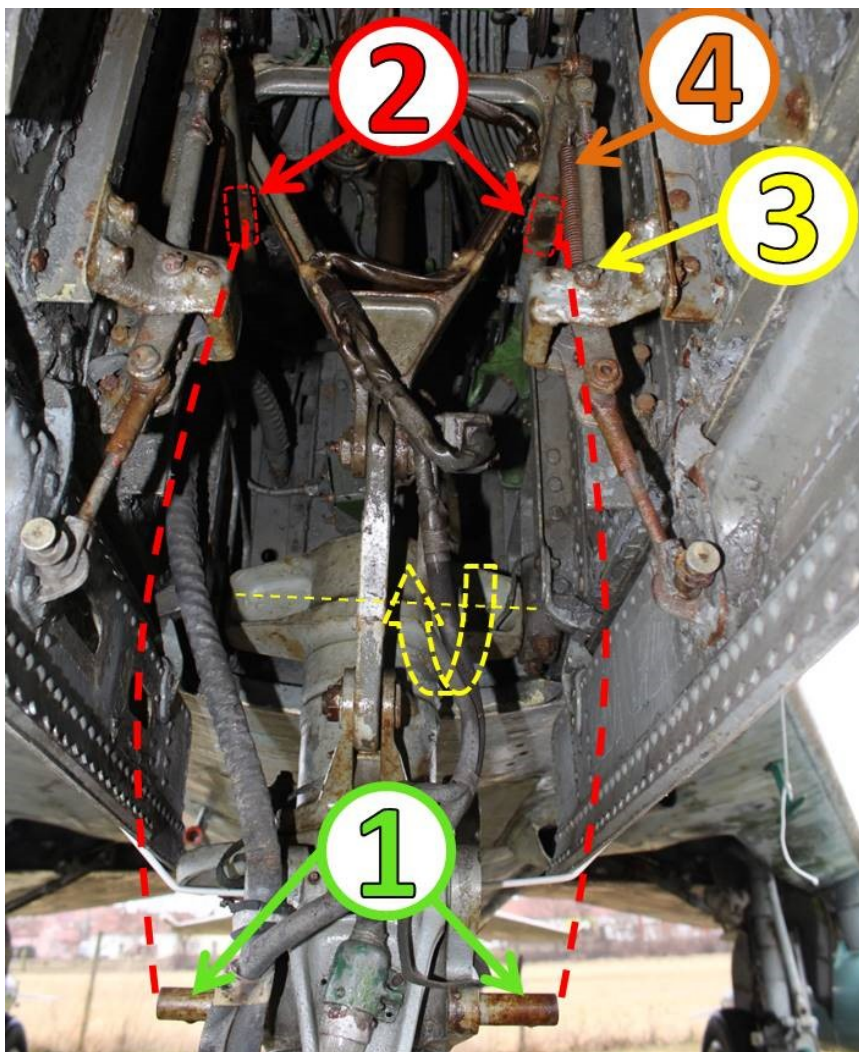
V této kapitole jsou popsány mechanismy předových dvírek u dvou vojenských letounů, konkrétně ruských letounů MiG 15 a Suchoj Su-7. Přestože se letouny liší jak ve velikosti, tak v účelu použití (MiG 15 je stíhací letoun, zatímco téměř dvakrát tak velký Su-7 je taktický bombardér), v obou případech se jedná o velmi podobné řešení podvozku, které se liší jen v detailech provedení. Oba mechanismy spadají do kategorie dvírek ovládaných pohybem podvozku, podobně jako EV-55 a Cessna 172 RG v kapitole 2.2.1.

Na obrázcích 2.10 a 2.11 můžeme porovnat oba mechanismy, přičemž vidíme vyznačeny i jednotlivé význačné komponenty. Čepy (pozice 1) připevněné k noze podvozku se při zasouvání opírají o plochy k tomu určené (pozice 2) na pákách, které mohou rotovat kolem pevného čepu v trupu. Tyto páky jsou táhly spojeny s kratšími pákami, které se otáčejí kolem dalšího čepu (pozice 3). Ty jsou dalšími táhly spojeny již se samotnými dvírkami, jež se jejich pohybem zavírají. V případě otevírání podvozku mechanismus funguje opačně, přičemž otevírání dvírek je zajištěno dvojicí (respektive čtveřicí) pružin, které přitlačují páky (pozice 2) k čepům na noze podvozku.

Funkce těchto dvou mechanismů je založena na úplně stejném principu jako v případě Cessny 172 RG (kapitola 2.2.1) a platí pro ně tedy obdobné schéma jako je na obrázku 2.5. Jedinou změnou zde je to, že jsou zaměněny dosedací plochy nohy podvozku a samotného mechanismu. Zatímco v případě Cessny 172 RG (nebo i EV-55) se dotýká noha podvozku samostatné hrazdy, u zde zmiňovaných vojenských letounů jsou k podvozkové noze připevněny čepy, které se dotýkají dvou samostatných táhel, která plní stejnou funkci jako hrazda.



Obr. 2.10 MiG 15 - Podvozková šachta



Obr. 2.11 Suchoj Su-7 - podvozková šachta

3 Návrh alternativního řešení pro EV-55 Outback

Cílem této kapitoly je nejprve zhodnotit jednotlivá řešení popsaná v předchozích kapitolách a na základě dosavadních zkušeností pak navrhnout nové koncepční řešení ovládání dvířek příďového podvozku pro letoun EV-55. Snahou bude zakomponovat do tohoto řešení i zavření dvířek během otevírání podvozku. Důvod je jednak estetický, dále se tímto opatřením sníží aerodynamický odpor při vzletu letadla. Tento návrh zároveň zohledňuje fázi vývoje letounu, kdy hlavní části již jsou navrženy a letoun je ve fázi prototypu a testování. Z tohoto důvodu by bylo velmi obtížné zakomponovat do podvozkové šachty nějaké zcela nové řešení, a to jak z prostorového hlediska, tak z hlediska systémů ovládání podvozku. Ve výsledku by se také mohlo stát, že kvůli úpravě mechanismu dvířek by bylo nutné upravit celou přední polovinu letounu, včetně hydraulických systémů, což je samozřejmě nežádoucí.

3.1 Zhodnocení řešení používaných u jiných letounů

Hodnocení jednotlivých typů mechanismů bude založeno především na třech základních kritériích – typu podvozku a jeho ovládání, možnosti opětovného uzavření dvířek a případných nutných úpravách zástavbového prostoru a dalších systémů.

Jako první zde bylo zmíněno ovládání dvířek samostatnými aktuátory (kapitola 2). Toto řešení bývá využíváno u větších letounů, a proto by mohlo být použito i pro EV-55. Jeho jednoznačnou výhodou je to, že následné uzavření dvířek při vysunutém podvozku by neznamenal téměř žádnou komplikaci oproti variantě, kdy by dvířka zůstávala otevřená. Aktuátoru by pouze stačilo poslat signál, že se má vrátit do původní polohy, což by mohlo být naprogramováno automaticky, například na koncový spínač polohy vysunutého podvozku. Znamenalo by to i snadné otevření dvířek v případě potřeby, zejména pro údržbu – mohl by být k dispozici dodatečný ovladač, který by aktuátoru poslal signál k otevření nezávisle na poloze podvozku. Tento způsob ovládání dvířek by tedy byl vhodný, pokud by požadavek na opětovné uzavírání dvířek byl přednesen již při počátečním návrhu letounu. Jelikož ale cílem této práce je navrhnout takovýto mechanismus pro již navržení letoun, bylo by obtížné zapracovat další aktuátory (nejčastěji hydraulické). Problémem by nebylo ani tak jejich umístění do podvozkové šachty, jelikož se nejedná o žádné velké přístroje, jako hlavně nutnost jejich zapojení do hotového hydraulického systému letounu a jejich napojení na další ovládací systémy. Toto řešení by se tedy dalo považovat za vhodné, ovšem v této fázi vývoje letounu by již vyžadovalo relativně velké úpravy různých dalších částí, což však již není v kompetenci této práce.

Co se týče řešení popsaných v kapitole 2.1 Kluzáky a ultralehké letouny, oba typy jsou zcela nevhodné pro použití v letadle velikosti EV-55. Jelikož ultralehké letouny mají v naprosté většině případů podvozek pevný, nemá smysl se tímto řešením dále zabývat. U kluzáků již podvozek bývá zatažitelný a i pro dvířka se tedy používá již popsaný mechanismus. Podvozek sice je ovládán čistě mechanicky pomocí síly pilota, na rozdíl od hydraulického pohonu u větších letadel, ale ovládání dvířek tímto způsobem je použitelné i pro letouny vyšších kategorií, jak to ilustruje například TU-154 v kapitole 2.2.3. Pro zástavbu by toto řešení nepředstavovalo téměř žádnou změnu, stačilo by pouze připevnit pohyblivá táhla k noze podvozku a ke dvířkům. Pro toto řešení musí dvířka mít dvě části (jako má EV-55 – výklopnou a posuvnou), což by

nebyl problém, jelikož posuvná dvířka musí zůstat otevřená, aby vzniklým otvorem mohla procházet podvozková noha. Problémem by ovšem bylo docílit opětovného zavření dvířek při otevřeném podvozku. Z tohoto důvodu je toto řešení tedy také nevhodné.

Řešení popsané v kapitole 2.2.1 ilustrované na letounu Cessna 172 RG je prakticky totožné s aktuálně použitým řešením u EV-55. Rozdíl je v tom, že dvířka nemají posuvnou část a celý podvozek tedy prochází otvorem vzniklým vyklopením dvířek. To ovšem není zásadním funkčním rozdílem, posuvná dvířka by bylo možné ponechat v původním provedení. Z hlediska typu podvozku a zástavbového prostoru je toto řešení sice vhodné, ale nepřineslo by žádnou změnu oproti stávajícímu stavu, obzvláště ne možnost opětovného uzavření dvířek. Opět se tedy jedná o nevhodné řešení.

Mechanismus použitý na letounu Beechcraft Super King Air B300 (viz kapitola 2.2.2) je opět použitelný pro letoun požadované velikosti. Co se týče zástavbového prostoru, nejsou na něj žádné zvláštní požadavky, jelikož se jedná prostorově o celkem úsporné řešení. Problémem daného vačkového mechanismu je však opětovné uzavření dvířek. Jelikož kolo se pohybuje při vysouvání podvozku pouze směrem dolů, také váleček zapadající do drážky ve vačce se pohybuje pouze jedním směrem. Není proto schopen otočit vačkou v opačném směru a dvířka opět zavřít.

U letounu Cessna 320 je použit jiný typ mechanismu, kdy celé ovládání dvířek je napevno svázáno s pohybem podvozku a jednotlivé komponenty jsou stále v kontaktu (na rozdíl například od EV-55, kdy se hrazda opře o dorazy a dále tedy nesleduje pohyb nohy podvozku, která pokračuje v pohybu – viz kapitola 1.3). Toto řešení opět splňuje požadavky na vhodnost pro daný typ letounu, stejně jako nutnost minimálních úprav zástavbového prostoru. Je otázkou, zda by pro žádaný pohyb dvířek byla dostatečná výška (myšleno svislý rozměr) podvozkové šachty u EV-55, to by bylo předmětem dalšího zkoumání. Zřejmě by bylo možné tento mechanismus upravit tak, aby bylo docíleno opětovného uzavření dvířek, ovšem ve stávající konfiguraci letounu tato funkcionálnost použita není.

V kapitole 2.3 popsané mechanismy (vojenské letouny) jsou oba funkčně totožné. Principiálně se vlastně jedná o podobný mechanismus jako u EV-55, kdy je však hrazda nahrazena dvěma pákami a na noze podvozku jsou navíc dva čepy, které pohybují s těmito pákami. Verdikt je tedy podobný jako u letounu Cessna 172 RG – řešení by bylo možné aplikovat pro EV-55, ale nepřineslo by to žádnou změnu ani užitek, nebylo by splněno opětovné uzavření dvířek.

3.2 Uvažované varianty mechanismů

Ze závěrů uvedených v předchozí kapitole vyplývá, že z popsaných mechanismů připadá v úvahu prakticky jenom jediný, a to po rozsáhlých úpravách – táhlový mechanismus použitý na letounu Cessna 320. Mimo možnosti úpravy tohoto mechanismu zde budou také popsány další možnosti mechanismů, které byly postupně uvažovány v průběhu návrhu.

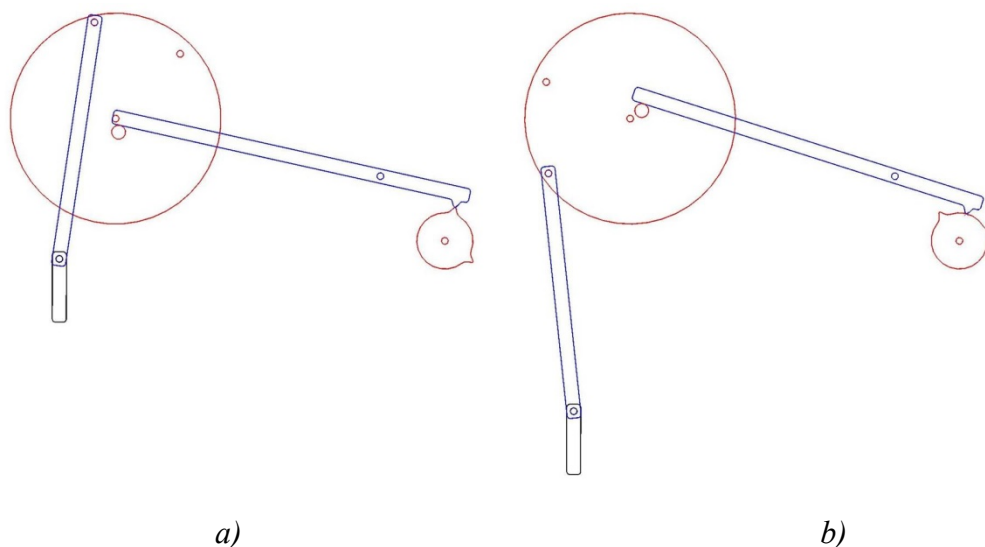
3.2.1 Táhlový mechanismus (Cessna 320)

Tento mechanismus v základním provedení neumožňuje opětovné uzavření dvířek po vysunutí podvozku. Bylo by tedy nutné provést takové úpravy, aby se hrazda, ke které jsou připevněna táhla ke dvířkům, otočila během pohybu nohy podvozku jedním směrem (vysouvání podvozku) tam a zpět, nebo aby se otočila o 180° – tím by se dosáhlo zavření dvířek. V obou případech by bylo nutné změnit převodové poměry jednotlivých stupňů mechanismu, problémem by ovšem vždy bylo překonání bodu zvratu – kdy by táhlo ovládající páku hřídele bylo s touto pákou rovnoběžné. Mohlo by se totiž stát, že by se z této úvratě hrazda otočila špatným směrem a účel by nebyl splněn. Další nevýhodou tohoto řešení je to, že by bylo nutné upravit nohu podvozku EV-55 tak, aby k ní bylo možné upevnit táhla vedoucí k mechanismu.

Jelikož Cessna 320 má pouze dvoudílná dvířka (oba díly vyklápěcí), není možné je zavřít při vysunutém podvozku. Z tohoto důvodu je nutné zachovat posuvný díl dvířek u EV-55, aby stále zůstal otevřený otvor pro podvozkovou nohu. Posuvný díl dvířek ovšem musí být také nějak ovládán, což však táhlový mechanismus neumožňuje. Ovládání tohoto dílu musí být navíc odděleno od ovládání výklopných částí, protože tento díl se nesmí opětovně uzavírat. V případě použití táhlového mechanismu by tedy bylo nutné buď zachovat stávající řešení pro posuvná dvířka (hrazda opírající se o podvozkovou nohu s táhly), nebo realizovat zcela nové řešení tohoto problému pomocí dalšího samostatného mechanismu. V případně zachování stávajícího ovládání by zřejmě vyvstal problém s kolizemi částí jednotlivých mechanismů, především táhel. Ta totiž u obou z nich směřují do stejné části podvozkové šachty, přičemž však vykonávají zcela rozdílné pohyby. Z tohoto důvodu by tedy s největší pravděpodobností vyvstal prostorový problém, kdy by bylo nutné umístit táhla jednotlivých mechanismů vedle sebe, přičemž není jisté, že by to prostor mezi stěnou šachty a kolem nebo nohou podvozku umožňoval. Jiný, nový typ ovládání posuvných dvířek by opět vyžadoval další zásahy do již navrženého letounu.

3.2.2 Vačkový mechanismus

V průběhu tvorby této práce byl také vzat v úvahu vačkový mechanismus, který by umožňoval opětovné uzavření výklopných dvířek (Obr. 3.1).



Obr. 3.1 Vačkový mechanismus

Tento mechanismus vychází ze základních principů funkce vaček a rovnováhy na páce. Malý vačkový disk by byl připevněn ke kloubu, kolem kterého se otáčí podvozková noha, a to tak, že by jeho úhel natočení byl pevně svázán s úhlem natočení nohy (například tvarovým spojem). Při zasunutém podvozku (Obr. 3.1 a)) by byla jedna z vaček natočena tak, že by páka zvednuta (otočena kolem kloubu ve čtvrtině její délky proti směru pohybu hodinových ručiček). To by znamenalo, že druhý (větší) kotouč bude natočen tak, aby svislé táhlo bylo vysunuto směrem nahoru a kloub připevněný ke dvířkům (na obrázku reprezentován černým šoupátkem) by byl vytažen nahoru, což odpovídá zavřeným dvířkům.

Při vysouvání podvozku (Obr. 3.1 b)) by se vačka na vačkovém kotouči posunula tak, že by páka klesla a opřela by se o kruhovou část kotouče. Velký kotouč by se pak otočil proti směru hodinových ručiček (to by bylo zajištěno například pružinou, která není na obrázku znázorněna). Nyní by táhlo zatlačilo na kloub u dvířek a ta by se otevřela. Při již téměř otevřeném podvozku by se páka začala zvedat a celý mechanismus by se vrátil do původní polohy. Otáčení většího kotouče pomocí páky by bylo zajištěno kolíkem připevněným k disku, který by se opíral o páku.

Tento mechanismus by po kinematické stránce fungoval bez problémů, bylo by ovšem opět nutné zajistit otevírání posuvné části dvířek, což by znamenalo podobný problém, jako předchozí zmiňovaná varianta táhlového mechanismu.

Větším problémem ovšem je dynamika uvažovaného vačkového mechanismu. Jelikož je nutné na výstupu dosáhnout posuvu dvířek přibližně o 150 mm a zároveň vačky na vačkovém kotouči u kloubu nohy podvozku nemohou být z prostorových důvodů větší než přibližně 5 mm, celý mechanismus by musel mít převodový stupeň kolem 30. To prakticky znamená, že síla nutná k zavření (případně otevření) dvířek by se na kratší konec páky (u vačkového kotouče) přenesla třicetkrát větší. To by znamenalo enormní nároky na jednotlivé komponenty, zejména vačky, kolík na kotouči a páku, které by všechny bylo nutné dostatečně nadimenzovat. Není ovšem jisté, že by to na omezeném prostoru bylo možné, nebo dokonce prakticky proveditelné, pokud by se bral ohled na minimalizaci hmotnosti, což je u letadla velmi podstatné.

3.2.3 Mechanismus využívající lana

Poslední možností uvažovanou v této práci je mechanismus, který využívá k opětovnému uzavření dvířek lana. Z analýzy stávajícího mechanismu EV-55 popsané v kapitole 1 vyplynulo, že horní čep podvozkové nohy (k němuž je připevněn hydraulický píst) prochází těsně otvorem k tomu určeným a na horní hraně tohoto otvoru je dostatek místa pro případné upevnění lana. Zároveň by nebylo obtížné na tento kloub připevnit hák, který by toto lano mohl zachytit. Bylo by ovšem nutné vhodně zvolit cestu pro natažení lana tak, aby nepřekáželo v pohybu ostatním částem mechanismu a neohrožovalo tak bezpečnost celého letounu při přistání, a zároveň aby plnilo svou funkci a umožňovalo pohyb dvířek přesně mezi koncovými body při plně vysunutém nebo zasunutém podvozku.

I u tohoto řešení opět vyvstává problémy, například s oddělením ovládání dvířek výklopných a posuvných. Veškeré komplikace jsou ovšem relativně jednoduše mechaniky řešitelné.

Zřejmou nevýhodou této konfigurace je nárůst složitosti vlivem většího počtu komponentů, který však není nijak zásadní. Naopak výhodou je možnost otevřít dvířka

při vysunutém podvozku, například při nutnosti údržby. Stačilo by totiž vhodným přípravkem stáhnout lano z háku a dvířka by se sama otevřela. Po provedení požadovaných úkonů by se lano opět vrátilo do stavu, kdy by bylo zachyceno hákem a mechanismus by mohl fungovat již v běžném režimu. Tento zásah u předchozích možností umožněn není, což by ztěžovalo případnou údržbu této části letadla.

3.3 Zvolený mechanismus

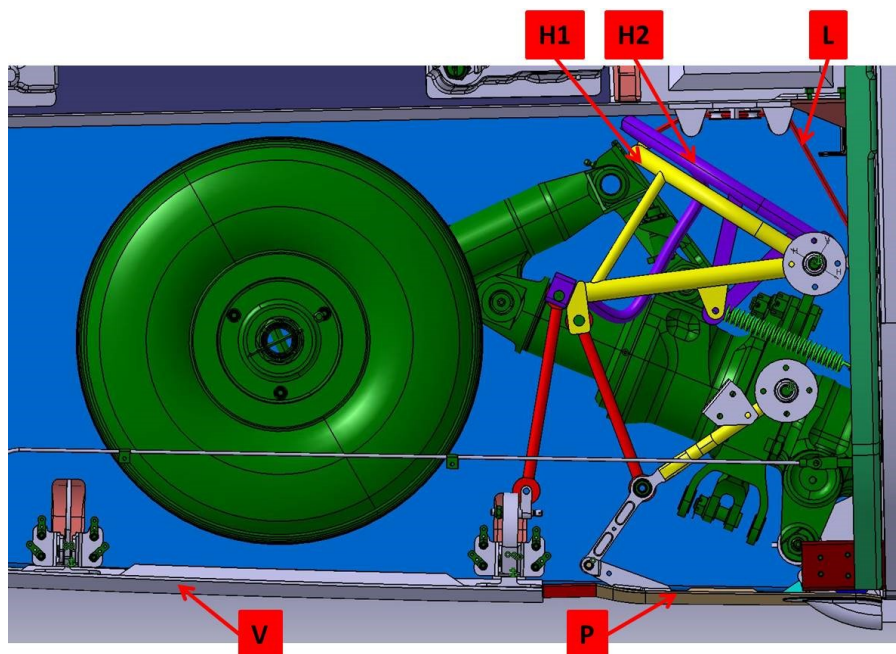
Po zhodnocení všech dostupných informací a zvážení výhod i nevýhod jednotlivých mechanismů bylo zvoleno řešení pomocí mechanismu využívajícího lana.

Tato varianta byla vybrána z již zmíněných důvodů popsaných v předchozí podkapitole. Jednou z hlavních výhod tohoto mechanismu jsou relativně malé úpravy oproti stávajícímu stavu u EV-55. Dalším pozitivem je možnost snadného přístupu a otevírání dvířek při nutnosti opravy nebo revize oproti ostatním uvažovaným variantám. Zde totiž stačí uvolnit lano z háku, dvířka se otevřou a při natažení lana zpět na hák je poté mechanismus opět funkční. U ostatních variant by toto bylo nutné řešit složitějším způsobem, s největší pravděpodobností pomocí odšroubování táhel v některém místě mechanismu. I toto řešení samozřejmě oproti stávajícímu přináší nárůst hmotnosti, což je však problémem všech zvažovaných možností a zároveň daní za dodatečnou funkci zavírání dvířek.

Tento mechanismus byl tedy dále rozpracován jako koncepční návrh řešení pro daný letoun a bude zde podrobně popsán.

3.4 Jednotlivé komponenty mechanismu

Tato podkapitola popisuje zvolený mechanismus jednak jako celek, dále se pak věnuje jednotlivým jeho částem a jejich funkci, jakož i problémům, které vyvstaly v průběhu jejich návrhu.

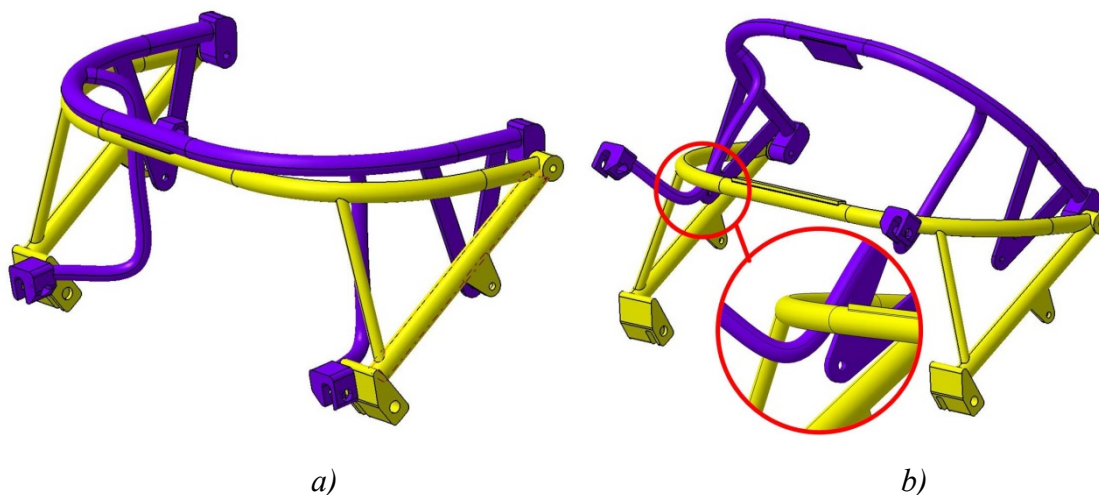


Obr. 3.2 Boční pohled na mechanismus

Na obrázku 3.2 je zobrazen celkový pohled na návrh mechanismu, již umístěný v kontextu celé zástavby příďového podvozku. V porovnání se současným stavem (obr. 1.2) zde došlo k několika zásadním změnám, které budou popsány dále.

3.4.1 Hrazdy

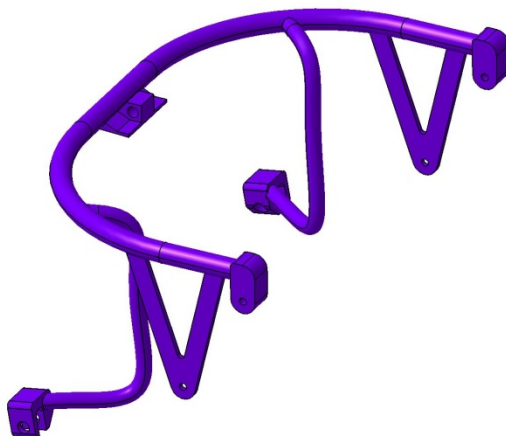
Jelikož chceme, aby se přední část dvířek po vysunutí podvozku zavřela, zatímco zadní část nikoliv, bylo nutné oddělit ovládání výklopných dvířek (přední část) od dvířek posuvných (zadní část). Toho bylo dosaženo rozdělením původní hrazdy na dvě části. Jedna z nich (H1, na obrázku vyznačena žlutě) zůstala v téměř stejné podobě jako původní varianta, jediným rozdílem je její ukončení, kdy k ní nejsou připevněna dvě táhla, ale jen jedno – právě k posuvným dvířkům P. Druhá část (H2, vyobrazena fialově), má na starosti ovládání předních výklopných dvířek V. Kvůli zachování kinematiky původního mechanismu (je nutné, aby se dvířka otevírala ve správný čas a správnou rychlostí), byla snaha umístit konec táhla od dvířek do stejné pozice, jako tomu bylo původně. To se podařilo docílit vhodným tvarováním úchytů pro čepy na jednotlivých hrazdách. Táhla na obrázku 3.2 jsou zjednodušená (pro snazší manipulaci s modelem sestavy), ve skutečnosti by bylo možné použít původní verzi těchto táhel (jak jsou na obr. 1.2), jelikož jsou délkově stavitelná a drobné odchylky by tedy bylo možné snadno korigovat.



Obr. 3.3 Hrazdy a jejich krajní polohy

Z obrázku 3.3 vyplývá vzájemná poloha obou hrazd. V jedné krajní poloze (obr. 3.3 a)), kdy jsou buď obě části dvířek zavřené – při zasunutém podvozku, nebo otevřené – v průběhu vysouvání podvozku, je horní (fialová) hrazda pro výklopná dvířka opřena o horní část spodní hrazdy. V této fázi se pohybují spolu (jsou upevněny na společném čepu), přičemž spodní hrazda, stejně jako v původní variantě řešení, klouže po podvozkové noze (viz kapitola 1.3). Změna ovšem nastává v okamžiku, kdy vysouvání podvozku přechází do druhé části, kdy již je nutné zavírat přední část dvířek. V tuto chvíli již spodní hrazda stojí, zatímco ta horní se od ní oddělí a pohybuje se směrem vzhůru (bude vysvětleno v další části). Ve výsledku dochází k jejich maximálnímu rozevření (obr. 3.3 b)), kdy již je přední část dvířek zcela zavřena. Tomuto bylo nutné uzpůsobit i konstrukci horní hrazdy, a to tak, aby nedocházelo ke kolizím s hrazdou dolní. Hlavním problémem totiž je, že uchycení táhel na obou hrazdách je velmi blízko sebe. Toto bylo vyřešeno speciálním tvarováním horní hrazdy,

aby ani při maximálním úhlu rozevření nedošlo ke kolizi se žádnou částí spodní hrazdy ani s jinou částí podvozkového mechanismu nikdy v průběhu otevírání nebo zavírání. Výsledkem je finální tvar vzniklý zohýbáním a svařením trubek, který je vidět na obrázku 3.4. Jediným dalším funkčním prvkem na horní hrazdě je oko pro uchycení lana, umístěné v horní střední části.

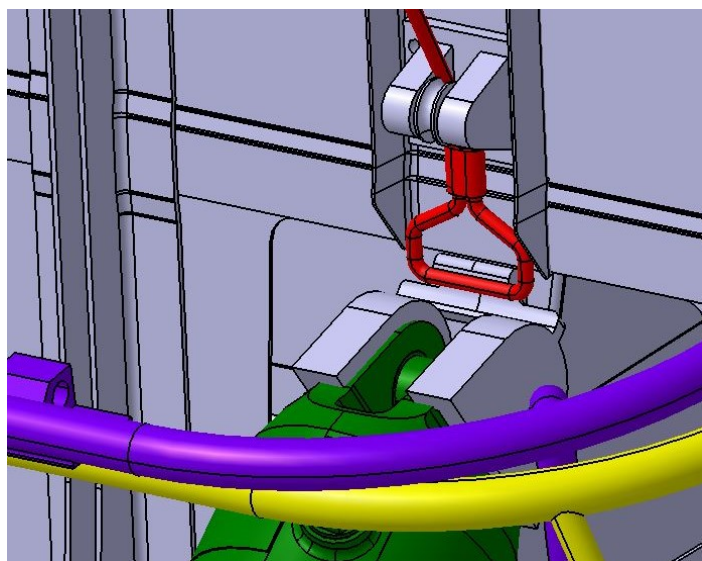


Obr. 3.4 Horní hrazda

Jinak funkce obou hrazd zůstává prakticky totožná s původním řešením, pouze je nutné každou z nich ovládat samostatnou pružinou – jsou tedy nutné dvě, nikoliv jenom jedna, jak je uvedeno v kapitole 1.3.

3.4.2 Lano

Další výraznou změnou v novém návrhu mechanismu je již zmiňované lano L, které zajišťuje právě funkci zavírání dvířek. To je na obrázku 3.2 vidět v pravém horním rohu (zobrazeno červenou barvou). Na jednom konci je vhodným rozebíratelným způsobem (například lanovou svorkou) připevněno k horní hrazdě, zatímco na jeho druhém konci je upevněno oko, aby mohlo být zachyceno v průběhu vysouvání podvozku hákem (obr. 3.5).



Obr. 3.5 Zachycení lana hákem

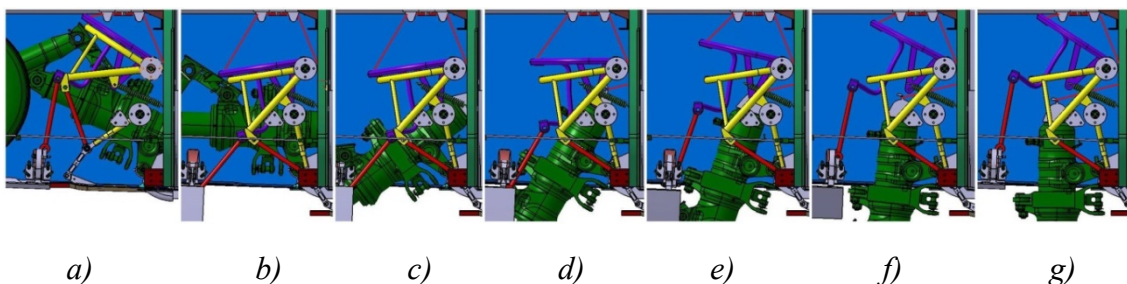
Lano prochází přes soustavu kladek, které zajišťují jeho správnou polohu a především požadovanou změnu směru. Dvě z nich jsou vidět na obrázku 3.2 vpravo nahoře, zatímco třetí je zobrazena na obrázku 3.5. Ta je umístěna na zadní stěně podvozkové šachty těsně nad otvorem, jímž prochází při vysouvání podvozku horní část nohy, na níž je připevněn hydraulický píst.

3.4.3 Hák

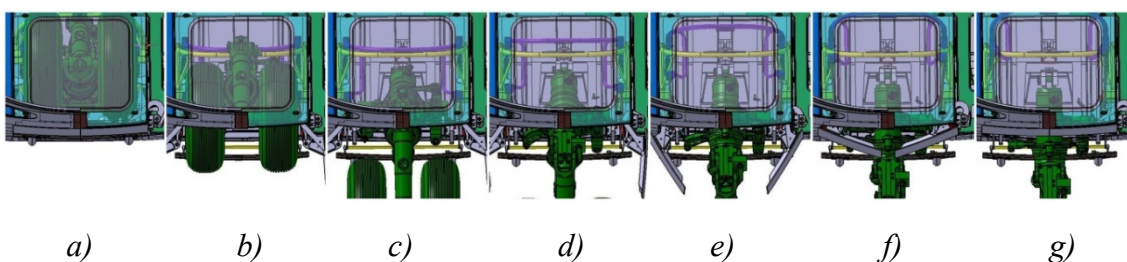
Další nutnou částí nového mechanismu je hák, který slouží k zachycení oka lana při vysouvání podvozku. Tento hák je připevněn v horní části podvozkové nohy (obr. 3.5), ve stejném místě, kde je spojena s hydraulickým pístem, který zajišťuje její pohon. Jeho umístění je zvoleno takto, protože nejlépe vyhovuje kinematickým požadavkům na mechanismus a zároveň minimálně ovlivňuje konstrukci podvozkové nohy. Stačí ho totiž připevnit stejným čepem, který spojuje nohu s hydraulickým pístem, přičemž fixaci jeho natočení zajistí tvarový spoj (přesně dosedá na tvar horní části podvozkové nohy). Zároveň bylo nutné zajistit, aby mohl procházet již navrženým otvorem, který tedy není třeba zvětšovat.

3.5 Funkce celého mechanismu

Na obrázcích 3.6 a 3.7 (písmena si navzájem odpovídají) je pomocí jednotlivých fází pohybu znázorněna funkce celého mechanismu.



Obr. 3.6 Fáze pohybu (pohled z boku)

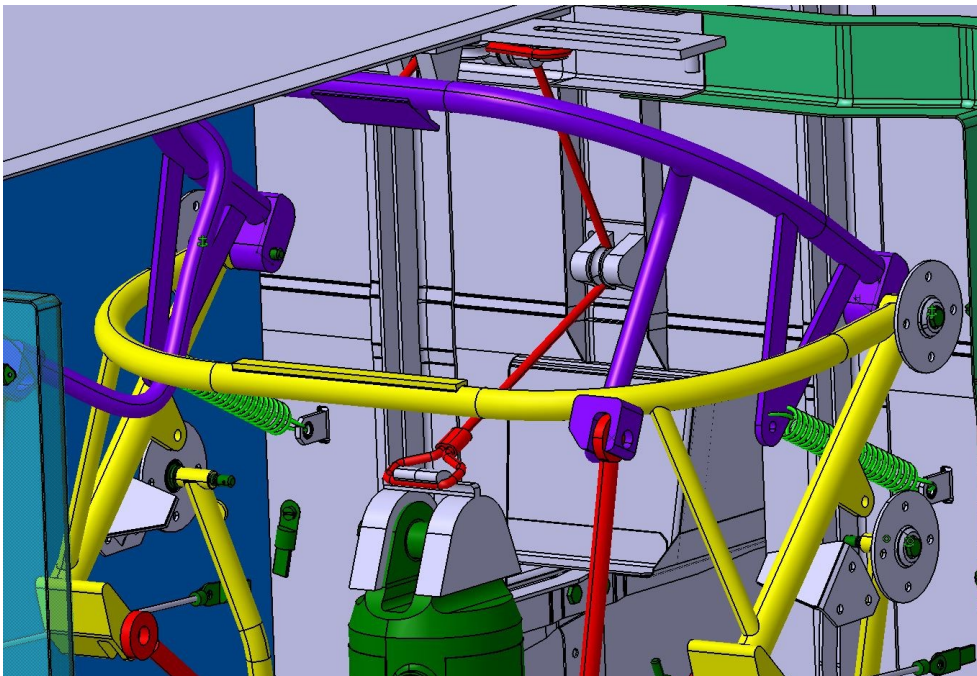


Obr. 3.7 Fáze pohybu (pohled zepředu)

Fáze pohybu:

- a) Podvozek včetně dvířek uzavřený
- b) Hrazda se dotkne dorazů a dále se nepohybuje, dvířka plně otevřená
- c) Zachycení lana hákem
- d) – f) Oddělení hrazd a postupné zavírání výklopných dvířek
- g) Zcela zavřená výklopná dvířka a vysunutý podvozek

Stav při plně vysunutém podvozku a zavřených dvířkách zachycuje obrázek 3.8. Zde je znázorněna poloha lana v druhé krajní fázi (oproti obr. 3.2) – jeho natažení hákem. Dále je zobrazena poloha hrazd vůči sobě navzájem i vůči celé zástavbě. V horní části obrázku je znázorněn také napínák lana, jehož funkce bude vysvětlena v další kapitole.



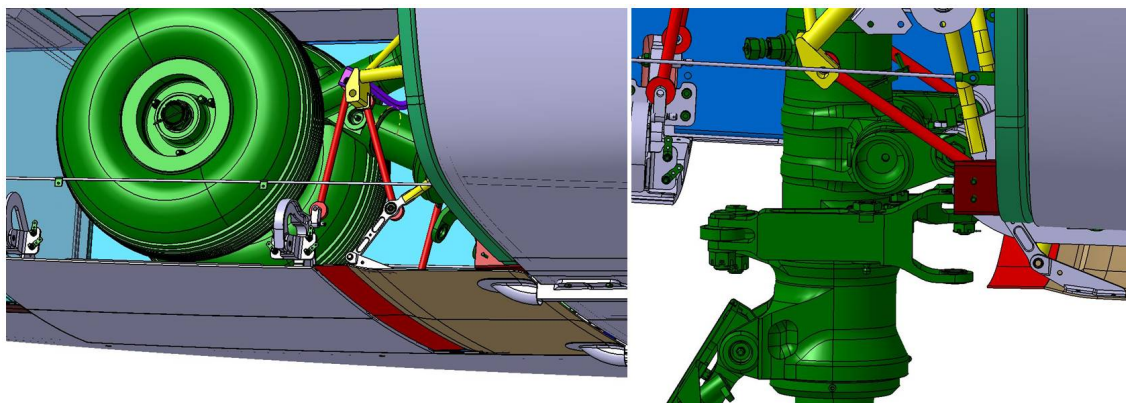
Obr. 3.8 Celkový pohled na mechanismus

3.6 Řešení dílčích problémů při konstrukci

V průběhu návrhu tohoto mechanismu vyvstávaly jednotlivé konstrukční problémy, které bylo třeba řešit s ohledem na správnou funkci. Některé z nich již byly zmíněny, tato kapitola se věnuje řešení závažnějších problémů, které by z principu omezovaly funkci celého mechanismu.

3.6.1 Úprava rozměrů dvířek

Jelikož se v původní variantě řešení předového podvozku nepočítalo s možností opětovného uzavření dvířek, při jejich zavírání (při vysunutém podvozku) by došlo ke kolizi s nohou podvozku, konkrétně s plochou, po které se pohybuje hrazda. To je vidět například na obrázku 1.3 c). Z tohoto důvodu tedy bylo nutné upravit přední výklopnou část dvířek tak, aby při jejím zavírání nedocházelo ke kolizi s vysunutou podvozkovou nohou. Toho bylo docíleno jednoduchým zkrácením této části, což nevyžaduje prakticky žádnou složitou změnu oproti stávajícímu stavu. Aby však zůstala podvozková šachta celá zakrytá když je podvozek zasunutý, bylo třeba upravit i zadní posuvnou část dvířek tak, aby zakryla prostor dříve krytý odstraněnou částí předních dvířek. Bylo tedy nutné najít správnou délku této úpravy, aby se v přední části vytvořil dostatek prostoru a zároveň aby nezačalo docházet ke kolizím v části zadní. Toto řešení je znázorněno na obrázku 3.9. Červeně je zde vyznačena část, která byla přidána k zadní posuvné části dvířek, aby bylo dosaženo kompletního zakrytí podvozkové šachty. Obdobný element byl odstraněn z přední výklopné části dvířek.

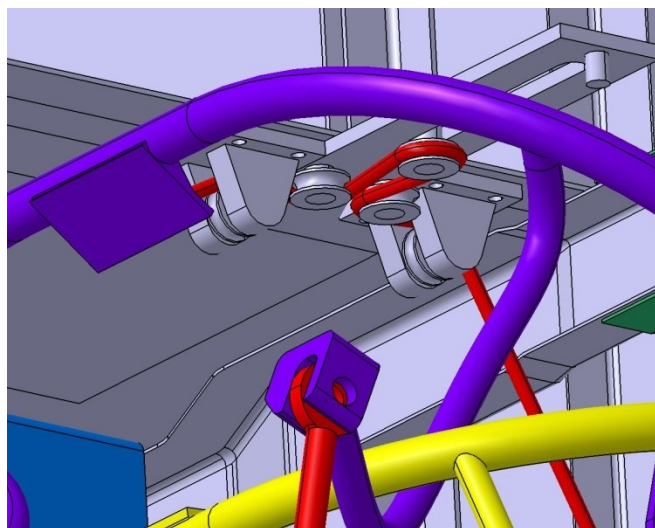


Obr. 3.9 Úprava dvířek

3.6.2 Napínání lana

Napínání lana je hlavním úskalím tohoto řešení. Nejen že je třeba udržovat lano v napnutém stavu (aby se nemohlo například kývat vlivem setrvačných sil nebo se nezaháklo do nějaké jiné části mechanismu), ale je třeba v průběhu vysouvání podvozku měnit jeho délku. To je zřejmé z obrázku 3.6, kdy si můžeme povšimnout, že lano je zachyceno hákem až v okamžiku c), ale již od bodu a) se pohybuje s horní hrazdou. Z toho vyplývá, že se zvětšuje jeho délka a je nutné to nějakým způsobem řešit.

Způsob, který řeší oba tyto problémy, je principiálně znázorněn již na předchozích obrázcích (např. 3.2 nebo 3.8), avšak zatím nebyl blíže zmíněn. Jedná se v podstatě o jednoduchý napínák, který silou pružiny napíná a v našem případě také zkracuje délku lana. Ten je umístěn v horní části podvozkové šachty téměř u svislé přepážky v její zadní části (viz obr. 3.10).

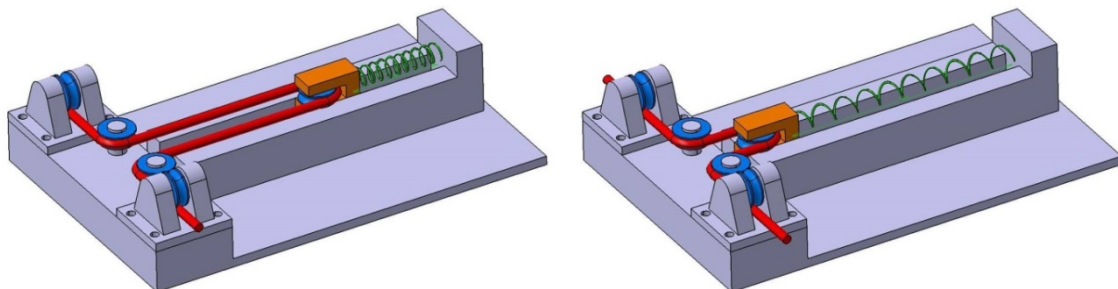


Obr. 3.10 Umístění napínáku lana

Z obrázku 3.10 je také zřejmý princip jeho funkce. Skládá se ze soustavy vodorovných kladek, která připomíná nejjednodušší kladkostroj – volnou kladku. Lana přichází od hrazdy přes svislou kladku, která mění jeho směr do vodorovné roviny. Dále již pokračuje na první kladku napínáku, která mění jeho směr o devadesát stupňů na

pohyblivou kladku. Ta pomocí tažné pružiny (na obr. 3.10 není znázorněna) lineárním pohybem v drážce těla napínáku pevně spojeného s podvozkovou šachtou letounu zajišťuje napínání (případně zkracování) lana. Z volné kladky lano pokračuje na další pevnou kladku, která opět mění jeho směr o devadesát stupňů na další svislou kladku, přes kterou již opouští vodorovnou rovinu a směřuje směrem k háku.

Toto uspořádání napínáku má hned dvě výhody. Jednak šetří prostor, protože lano se vždy zkrátí o dvojnásobnou vzdálenost, než se posune volná kladka. Druhou výhodou je to, že z principu volné kladky stačí na její pohyb menší síla a ve výsledku tedy i menší a slabší pružina. Schematický návrh tohoto napínáku včetně pružiny je znázorněn na obrázku 3.11, který zobrazuje obě krajní polohy volné kladky.

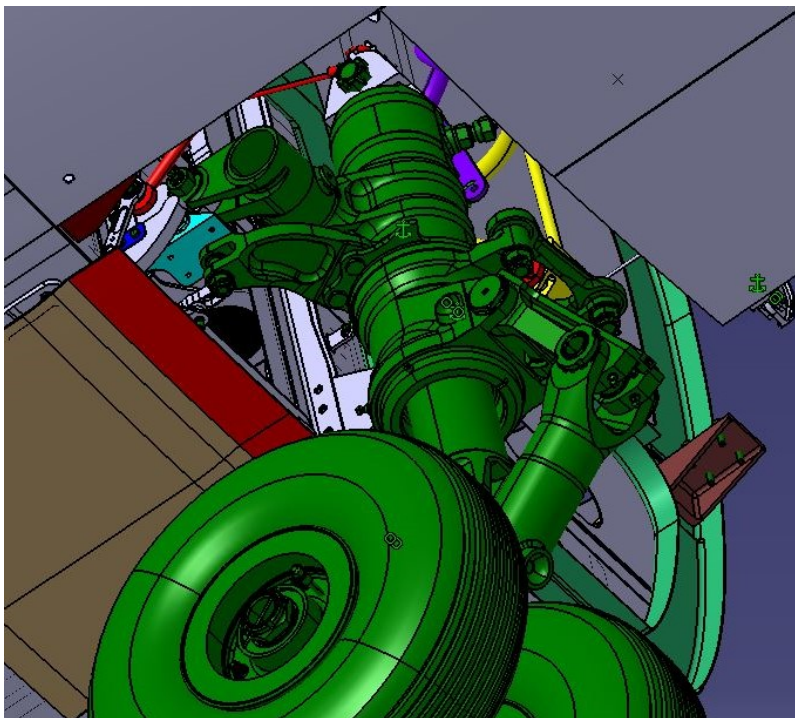


Obr. 3.11 Konstrukční řešení napínáku lana

Jelikož rozdíl v potřebných délkách lana (při zcela zasunutém podvozku oproti okamžiku, kdy je lano zachyceno hákem) je přibližně 120 milimetrů, byl tento napínák navržen tak, že volná kladka se může pohybovat o 80 milimetrů. Tím je zajištěn dostatečný prostor pro zkrácení lana včetně rezervy pro jeho napínání. Celé konstrukční řešení napínáku se příliš neliší od jeho zjednodušeného znázornění na obrázku 3.10. Hlavní změnou je propracování zajištění pohyblivé kladky a jejího pohybu. Pro tento účel by byl vhodný například díl z některého ze samomazných plastů, který by se pohyboval v drážce ve tvaru písmene T a ke kterému by byla připevněna jak kladka, tak pružina. Na konec tohoto vedení blíže k ostatním kladkám je nutné umístit doraz tak, aby tento dílec nemohl pokračovat dále v pohybu a lano se tak již neprodlužovalo. V opačném případě by totiž lano neplnilo svou funkci a nezavíralo dvířka podvozku, protože místo toho, aby pohybovalo horní hrazdou směrem nahoru, by pouze prodlužovalo svou délku.

3.6.3 Otevření dvířek v případě údržby

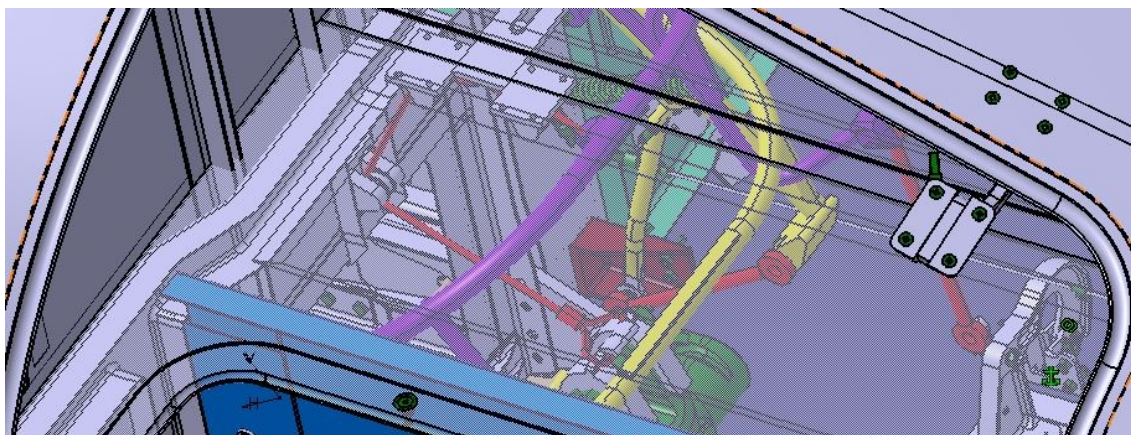
Jelikož v této konfiguraci mechanismu jsou dvířka ve chvíli, kdy je letadlo na zemi, zavřená, v případě nutnosti údržby je třeba umožnit přístup do podvozkové šachty. Z tohoto důvodu je nutné zajistit ruční otevření dvířek nezávisle na poloze podvozkové nohy. Toho se nejspíše docílí vyháknutím lana z háku na podvozkové noze. Problémem je to, že tento hák je při vysunutém podvozku ze spodu kolem podvozkové nohy velmi těžko dosažitelný (viz obr. 3.12), a to i s použitím nějakého přípravku.



Obr. 3.12 Přístup do podvozkové šachty

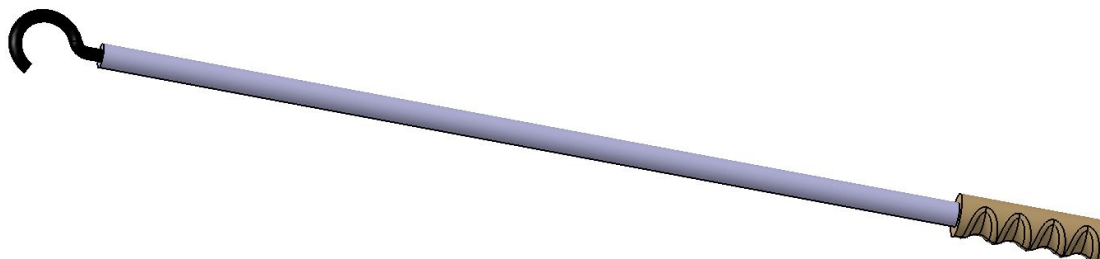
Proto bylo nutné hledat jiný způsob uvolnění lana. Přístup z boku skrz vnější skořepinu letounu nepřipadá v úvahu, protože by to vyžadovalo nutnost vytvoření otvoru na vnějším povrchu letounu a jeho následné zakrytování. To by byl problém jednak z hlediska bezpečnosti i z estetického hlediska, protože kryt by narušoval jednolitou plochu povrchu.

Při podrobnějším zkoumání přední části (obr. 1.1) letounu si můžeme všimnout velkého otvoru, který vede do malého zavazadlového prostoru umístěného nad podvozkovou šachtou. Bylo by tedy možné využít tohoto přístupu, jedinou nutnou úpravou je vytvoření malého přístupového otvoru do dna zavazadlového prostoru, které je zároveň stropem podvozkové šachty. V tomto místě otvor nepředstavuje takový problém. Další výhodou je také snadnější přístup k lanu, neboť je možné se k němu dostat z horní strany a uvolnit ho z háku. Celou situaci můžeme vidět na obrázku 3.13.



Obr. 3.13 Pohled do podvozkové šachty skrz zavazadlový prostor

Z obrázku 3.13 je patrné, že se stále nejedná o ideální přístup a rozhodně není možné uvolnit lano bez použití vhodného přípravku. Samotný přípravek může být relativně jednoduše koncipován, v podstatě stačí tyč s hákem na konci (obr. 3.14). Pro zajištění případné údržby letounu v kterékoli lokalitě by tento přípravek měl být ve výbavě každého letounu, například právě v zavazadlovém prostoru, přes který se přistupuje k podvozkové šachtě.



Obr. 3.14 Přípravek k uvolnění lana

3.7 Bezpečnostní hledisko

V leteckém průmyslu je třeba na každou část konstrukce pohlížet i z bezpečnostního hlediska. Ani podvozková dvířka nejsou výjimkou, neboť v případě selhání jejich mechanismu by se mohlo stát, že podvozek nebude schopen se vysunout, nebo se vysune pouze částečně. To by mohlo vést až ke katastrofické nehodě. Z tohoto důvodu je nutné zamyslet se nad tím, jak nový návrh mechanismu ovlivní bezpečnost oproti původní verzi.

Principiálně se od sebe obě varianty příliš neliší, většina komponentů zůstala stejná, případně jen s minimálními úpravami. Jako příklad můžeme uvést to, že z původní jedné hrazdy se staly hrazdy dvě, přičemž jejich geometrie je v podstatě stejná, jako tomu bylo u té původní. Hlavní změnou tedy zůstává pouze přidání lana a mechanismu k jeho napínání. Otázkou tedy je, jak tento zásah ovlivní bezpečnost provozu.

Když si uvědomíme, jak celý nový mechanismus funguje (kapitola 3.5), zjistíme, že otevírání dvířek je zajištěno úplně stejným mechanismem, jako v původní verzi (kapitola 1.3). Změna nastává až ve druhé části vysouvání podvozku, kdy dodané lano zajišťuje jejich zavření. Z tohoto poznatku vyplývá zjištění, že v tomto případě zásah do konstrukce neznamenal žádné zhoršení bezpečnosti. Teoreticky ji naopak zlepšil, neboť zatímco v původním návrhu je jediná hrazda tažena dvojicí pružin, v novém návrhu je dvojicí pružin tažena každá ze dvou hrazd samostatně, přičemž k samotnému otevření dvířek postačí pouze pružiny horní hrazdy, která spodní hrazdu otočí svým tlakem.

V případě nějaké poruchy lanového mechanismu tedy dojde k bezproblémovému otevření dvířek, stejně jako tomu je v původní verzi. Problém by mohl nastat až při jejich zavírání, což ovšem nepřestává být riziko, neboť v nejhorším případě se dvířka maximálně nezavřou. Výsledek tedy bude stejný jako v původní verzi – podvozek bude vysunutý a dvířka otevřená. To však nyní bude signalizovat poruchu mechanismu dvířek a bude třeba provést údržbu.

Při zasouvání podvozku se za podvozkovou nohou dvířka zavírají opět stejným způsobem, jako tomu bylo v původním návrhu. Před tím je však nutné, aby se dvířka před nohou otevřela a ta mohla projít vzniklým otvorem. V případě nějaké poruchy, například přetržení lana se dvířka otevřou automaticky silou pružin, jako tomu je ve variantě bez lana. Jediným problémem by mohlo být to, že se lano v některé své části zadře a bude dvířka držet svou silou zavřená. V tomto případě se opře kolo podvozku o zavřená dvířka, a buď je svou silou vylomí, nebo dvířka odolají a kolo zůstane částečně vysunuté. Druhý případ by neznamenal takový problém, neboť pilot by brzy zjistil, že podvozek se úplně nezasunul a provedl by jeho opětovné vysunutí a přistál na nejbližším vhodném místě, aby závada mohla být odstraněna. Případ, že by kolo prolomilo dvířka dovnitř do podvozkové šachty, je větším problémem, neboť by mohlo dojít k deformaci dvířek a opětovnému vysunutí podvozku by mohla deformovaná dvířka bránit. Je otázkou, zda by hydraulický píst ovládající vysouvání podvozku dokázal tento odpor překonat a podvozek i přesto zpátky vysunout. Vhodným bezpečnostním opatřením by mohlo být například dimenzování čepů, kterými jsou ke dvířkům připevněna táhla. V případě, že by pak došlo k poruše otevírání dvířek, kolo by se opřelo o zavřená dvířka a místo toho, aby je masivně deformovalo, došlo by k přestřížení těchto čepů a dvířka by se buď vtlačila do podvozkové šachty vcelku a při následném vysouvání vypadla ven, nebo by vypadla ven ihned. Tento problém by ale již byl otázkou k dalšímu řešení.

Z těchto úvah tedy vyplývá, že změny na mechanismu nezpůsobují téměř žádné zvětšení bezpečnostního rizika, neboť klíčové funkce původního návrhu jsou zachovány v nezměněné podobě. Jedinou výjimkou je relativně nepravděpodobná možnost zadření lana, které je však možné jednoduše předcházet vhodným mazáním. Bylo by však možné zavést výše uvedená opatření, která by minimalizovala riziko nehody v případě, že by i přes správnou údržbu k tomuto problému došlo.

Závěr

V průběhu tvorby této práce jsem se seznámil s různými druhy mechanismů ovládání dvířek příďového podvozku. Hlavním zdrojem informací byly reálné letouny, jejichž fotografie jsou zde publikovány. Jelikož na již vyrobených letadlech není k dispozici žádný popis funkce daného mechanismu, bylo nutné zpětně diagnostikovat funkci jednotlivých komponentů, což mi mimo jiné umožnilo podrobně se seznámit s touto problematikou. Nevýhodou této metody je, že u letadel, která mají možnost mít část dvířek zavřenou při vysunutém podvozku, nebylo možné zkoumat tento mechanismus, neboť přístup do podvozkové šachty je v tomto případě velmi obtížný.

Cílem této práce bylo zhodnotit reálnost úpravy stávajícího mechanismu u letounu EV-55 Outback s možností opětovného zavírání dvířek při vysunutém podvozku. Mohlo se tedy stát, že zástavba takového mechanismu do stávajícího prostor bude velmi obtížná, ne-li nemožná. Této variantě jsem se však snažil vyhnout a navrhnout takové řešení, které bude vyžadovat minimální změny na stávající konstrukci a zároveň bude plnit požadovanou funkci.

U návrhu nové varianty vlastního mechanismu jsem vycházel z nabytých informací a zkušeností, celkový princip byl však navržen jako nové a na zkoumaných letounech nepoužité řešení. Z tohoto důvodu by bylo nutné tento návrh dále rozpracovat a dopodrobna vyřešit jednotlivé díly z konstrukčního a technologického hlediska. Dále by bylo vhodné vyzkoušet funkci tohoto mechanismu například formou menšího prototypového modelu a teprve poté zvažovat jeho umístění do reálného letounu.

Je také nutné zhodnotit, zda jeho přínos v podobě sníženého aerodynamického odporu při startu letounu a estetická stránka převáží nevýhodu, kterou je v tomto případě především vyšší hmotnost a dále pak mírně snížená spolehlivost celého mechanismu, neboť je složitější a obsahuje více částí než původní varianta použitá ve stávajících prototypech letounu EV-55 Outback.

Díky této práci jsem se důkladně seznámil s konstrukčním softwarem Catia V5, jež byl použit pro tvorbu jednotlivých modelů. Toto považuji za další dodatečný přínos, co se týče profesního hlediska, neboť se jedná o velmi využívaný software v oblasti konstrukčních návrhů i tvorby výkresové dokumentace.

Seznam použitých zdrojů

- [1] EV-55 Outback. *Evektor* [online]. Kunovice: Evektor, ©1999-2017 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.evektor.cz/cz/ev-55-outback>
- [2] KIRCHMANN, I., U. GRABHERR, M. GITTERLE a M. Hornung. *Elektro-hydraulische Antriebe am Flugzeugfahrwerk* [online]. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal-Oberth e.V., Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2015, 2015 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.dglr.de/publikationen/2015/370182.pdf>
- [3] Dělení a základní části letadel. *Ústav letadlové techniky ČVUT FS* [online]. Praha [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://aerospace.fsik.cvut.cz/letadla1/D%C4%Blen%C3%AD%20a%20z%C3%A1kladn%C3%AD%20%C4%8D%C3%A1sti%20letadel.pdf>
- [4] Nimbus Gelcoat Repair. *Nimbus Gelcoat Repair* [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.archive.jimphoenix.com/archive09/jimphoenix2/pages/Nimbus/Nimbus1/subNimbus1.html#new>
- [5] EuroStar SL+. *Evektor* [online]. Kunovice: Evektor, ©1999-2017 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.evektor.cz/cz/eurostar-sl-plus>
- [6] *Super King Air Model B300/B300C - Maintenance Manual: Nose landing gear door adjustment/test*. Beechcraft Corporation, 2014

Seznam obrázků

Obr. 0.1 Eektor EV-55 Outback [1]	1
Obr. 1.1 Model zástavby příďového podvozku - řez.....	2
Obr. 1.2 Zobrazení mechanismu a jeho součástí	3
Obr. 1.3 Jednotlivé fáze otevírání podvozku	4
Obr. 2.1 Ovládání dvířek dodatečným aktuátorem [2].....	5
Obr. 2.2 Podvozek kluzáku Nimbus 2c [4]	7
Obr. 2.3 Eektor EuroStar SL+ [5]	7
Obr. 2.4 Cessna 172 RG Cutlass - podvozková šachta	8
Obr. 2.5 Cessna 172 RG Cutlass - schéma pohybu mechanismu.....	8
Obr. 2.6 Cessna 320.....	9
Obr. 2.7 Cessna 320 - schéma pohybu mechanismu	10
Obr. 2.8 Schéma mechanismu u Beechcraft Super King Air B300 [6].....	10
Obr. 2.9 TU-154	11
Obr. 2.10 MiG 15 - Podvozková šachta	12
Obr. 2.11 Suchoj Su-7 - podvozková šachta	13
Obr. 3.1 Vačkový mechanismus.....	16
Obr. 3.2 Boční pohled na mechanismus	18
Obr. 3.3 Hrazdy a jejich krajní polohy	19
Obr. 3.4 Horní hrazda	20
Obr. 3.5 Zachycení lana hákem	20
Obr. 3.6 Fáze pohybu (pohled z boku)	21
Obr. 3.7 Fáze pohybu (pohled zepředu)	21
Obr. 3.8 Celkový pohled na mechanismus	22
Obr. 3.9 Úprava dvířek	23
Obr. 3.10 Umístění napínačku lana	23
Obr. 3.11 Konstrukční řešení napínačku lana	24
Obr. 3.12 Přístup do podvozkové šachty	25
Obr. 3.13 Pohled do podvozkové šachty skrz zavazadlový prostor	25
Obr. 3.14 Přípravek k uvolnění lana.....	26