

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
LETECKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

# **NÁVRH PODVOZKU PRO LETOUN RAPID 600**

THE LANDING GEAR DESIGN FOR RAPID 600 AIRCRAFT

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

### **AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. TIBOR CHREN**

### **VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**prof. Ing. ANTONÍN PÍŠTĚK, CSc.**

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Tibor Chren

který/která studuje v magisterském navazujícím studijním programu

obor: **Stavba letadel (2301T039)**

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 diplomové práce:

### **Návrh podvozku pro letoun Rapid 600**

v anglickém jazyce:

### **The Landing Gear design for RAPID 600 aircraft**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V diplomové práci navrhnete hlavní i příďový podvozek v zatahovací variantě pro letoun RAPID 600. Proveďte základní pevnostní výpočet soustavy podvozku a konstrukční návrh soustavy. Podvozek, jeho zastavba i systém ovládání musí být navržen tak, aby umožnil bezpečnou automatickou funkci vysouvání v případě kritických režimů. V projektu proveďte analýzu kritických režimů. Návrh přistávacího zařízení by měl co nejméně zasahovat do současné konstrukce letounu RAPID 600 a také jeho návrhové parametry musí být zachovány. Maximální hmotnost letounu  $m = 600$  kg, předpisová báze LU-2, LSA a případně CS VLA.

Cíle diplomové práce:

Diplomový projekt by měl řešit systém zatahovacího podvozku a zatahování tak, aby bylo možné adaptovat systém automatického vysouvání v případě kritických režimů letu a zvýšit tak bezpečnost letu (přistání) snížením psychické zátěže pilota.

Seznam odborné literatury:

- [1] MERTL, V.: Konstrukce a projektování letadel, VUT-FSI, 2000
- [2] DANĚK, V.: Projektování letadel, VUT-FSI, 2000
- [3] Letecké předpisy CS - VLA, UL-2, LSA
- [4] Firemní literatura a podklady zejména z Jihlavan Aeroplanes
- [5] Další literaturu dle doporučení vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 20.12.2009

L.S.



prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.  
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

---

## ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá návrhom zaťahovacieho podvozku pre letún Rapid 600. Je v nej spracovaný rozbor a výber vhodných spôsobov zaťahovania pre predný aj hlavný podvozok. Práca sa ďalej zaoberá návrhom spôsobov ovládania zaťahovacieho podvozku, ktorá obsahuje aj návrh systému na automatické ovládanie podvozku, určuje funkcie a spôsob činnosti tohto systému. Jej súčasťou je aj analýza kritických režimov, ktoré systém dokáže odhaliť.

## KLÚČOVÉ SLOVÁ

Ultraľahký letún, Rapid 600, zaťahovací podvozok, konštrukčný návrh, výpočet zaťaženia podvozku, automaticky ovládaný podvozok, kritické režimy letu

## ABSTRACT

This diploma thesis deals with design of retractable landing gear for Rapid 600 aircraft. The main purpose of this thesis is to analyze different retraction options for front and main landing gear and resulting selection of suitable variants. The thesis is consequently concerned with design of selected options including proposal of automatic landing gear control system and specifying the features and characteristics of this system. In the thesis there is also included the analysis of critical flight conditions which could be detected by this system.

## KEYWORDS

Ultra light aircraft, Rapid 600, retractable landing-gear, engineering design, calculation of landing gear loading, automatically controlled landing-gear, critical flight conditions

## BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

CHREN, T. *Návrh podvozku pro letoun Rapid 600*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 66 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Antonín Píštěk, CSc.

---

---

## ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že túto prácu som vypracoval samostatne, pod vedením vedúceho diplomovej práce prof. Ing. Antonína Píšťka, CSc. a s použitím len uvedených zdrojov.

V Brne dňa.....

.....  
Tibor Chren

---

---

## **POĎAKOVANIE**

Chcel by som poďakovať každému, kto mi pomohol pri tvorbe tejto práce.

Hlavne ďakujem za pomoc, návrhy a pripomienky vedúcemu diplomovej práce  
prof. Ing. Antonínovi Píšťkovi, CSc.

Za pomoc pri vypracovaní ďalej ďakujem doc. Ing. Jiřímu Hlinkovi, Ph.D.

V neposlednom rade by som sa chcel poďakovať spoločnosti Jihlavan Airplanes,  
Ing. Michalovi Jarošovi a Ing. Maxovi Finsterlemu za poskytnuté dokumenty.

---

## OBSAH

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Úvod .....</b>                                                     | <b>8</b>  |
| <b>2. Charakter a cieľ práce .....</b>                                   | <b>9</b>  |
| <b>3. Letún Rapid 600 a jeho podvozok .....</b>                          | <b>10</b> |
| 3.1 Popis letúna Rapid 600 .....                                         | 10        |
| 3.2 Základné údaje letúna Rapid 600 .....                                | 12        |
| 3.3 Podvozok letúna Rapid 600 .....                                      | 13        |
| <b>4. Všeobecný popis podvozku s predným kolesom .....</b>               | <b>14</b> |
| 4.1 Základná charakteristika .....                                       | 14        |
| 4.2 Porovnanie pevného a zaťahovacieho podvozku .....                    | 15        |
| 4.3 Požiadavky na podvozok .....                                         | 15        |
| <b>5. Návrh zaťahovacieho podvozku .....</b>                             | <b>17</b> |
| 5.1 Úrovne zatiahnutia podvozkov .....                                   | 17        |
| 5.2 Rozbor predného a hlavného podvozku .....                            | 18        |
| 5.3 Analýza predného podvozku .....                                      | 18        |
| 5.3.1 Základné druhy kinematických mechanizmov predného podvozku .....   | 18        |
| 5.3.2 Zatiahnutie predného podvozku dopredu .....                        | 19        |
| 5.3.3 Zatiahnutie predného podvozku dozadu .....                         | 20        |
| 5.3.4 Posun predného podvozku dopredu a zasunutie dozadu .....           | 20        |
| 5.3.5 Voľba spôsobu zaťahovania predného podvozku .....                  | 23        |
| 5.3.6 Odôvodnenie voľby spôsobu zaťahovania predného podvozku .....      | 24        |
| 5.4 Analýza hlavného podvozku .....                                      | 25        |
| 5.4.1 Základné druhy kinematických mechanizmov hlavného podvozku .....   | 25        |
| 5.4.2 Zatiahnutie hlavného podvozku dozadu .....                         | 26        |
| 5.4.3 Zatiahnutie hlavného podvozku k ose súmernosti letúna .....        | 27        |
| 5.4.4 Zatiahnutie hlavného podvozku od osi súmernosti letúna .....       | 28        |
| 5.4.5 Poskladanie hlavného podvozku pomocou jednej zlomenej vzpery ..... | 28        |
| 5.4.6 Poskladanie hlavného podvozku pomocou dvoch zlomených vzpier ..... | 30        |
| 5.4.7 Voľba spôsobu zaťahovania hlavného podvozku .....                  | 33        |
| 5.4.8 Odôvodnenie voľby spôsobu zaťahovania hlavného podvozku .....      | 34        |
| <b>6. Geometria podvozku .....</b>                                       | <b>35</b> |
| <b>7. Zaťaženie podvozku .....</b>                                       | <b>36</b> |
| 7.1 Podmienky zaťaženia podvozku na zemi .....                           | 38        |
| 7.2 Zaťaženie podvozku na zemi .....                                     | 39        |
| 7.3 Zaťaženie pri vodorovnom pristávaní .....                            | 40        |
| 7.4 Zaťaženie pri pristávaní s predným kolesom tesne nad zemou .....     | 41        |
| 7.5 Zaťaženie pri pristávaní s veľkým uhlom nábehu .....                 | 42        |
| 7.6 Zaťaženie pri pristávaní na jedno koleso .....                       | 43        |
| 7.7 Zaťaženie pri pristávaní v bočnom vetre .....                        | 44        |
| 7.8 Zaťaženie podvozku počas brzdenia .....                              | 44        |
| 7.9 Dodatočné zaťaženie podvozku .....                                   | 45        |

|            |                                                                  |           |
|------------|------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.10       | Súhrn zaťaženia podvozku .....                                   | 46        |
| <b>8.</b>  | <b>Ovládanie zaťahovacieho podvozku .....</b>                    | <b>48</b> |
| 8.1        | Ručné ovládanie podvozku .....                                   | 48        |
| 8.1.1      | Princíp a popis systému .....                                    | 48        |
| 8.2        | Automatické ovládanie podvozku .....                             | 49        |
| 8.2.1      | Návrh a popis systému .....                                      | 49        |
| 8.2.2      | Návrh prístroja na palubnej doske .....                          | 52        |
| 8.2.3      | Rozbor činností systému automatického ovládania .....            | 55        |
| 8.2.4      | Analýza kritických režimov .....                                 | 55        |
| 8.2.5      | Zhrnutie princípu systému automatického ovládania podvozku ..... | 55        |
| 8.3        | Núdzové ovládanie podvozku .....                                 | 56        |
| 8.3.1      | Princíp a popis systému .....                                    | 56        |
| 8.4        | Súhrn možností ovládania zaťahovacieho podvozku .....            | 56        |
| <b>9.</b>  | <b>Komentár a zhodnotenie návrhu podvozku .....</b>              | <b>58</b> |
| 9.1        | Návrh zaťahovacej varianty podvozku .....                        | 58        |
| 9.2        | Návrh systému automatického ovládania podvozku .....             | 58        |
| <b>10.</b> | <b>Záver .....</b>                                               | <b>59</b> |
| <b>11.</b> | <b>Zoznam použitej literatúry .....</b>                          | <b>60</b> |
| <b>12.</b> | <b>Zoznam použitých skratiek .....</b>                           | <b>61</b> |
| <b>13.</b> | <b>Zoznam symbolov a indexov .....</b>                           | <b>62</b> |
| <b>14.</b> | <b>Zoznam obrázkov .....</b>                                     | <b>64</b> |
| <b>15.</b> | <b>Zoznam tabuliek .....</b>                                     | <b>66</b> |
| <b>16.</b> | <b>Zoznam príloh .....</b>                                       | <b>66</b> |



### 1. ÚVOD

Letecké podvozky sa vyvinuli pre rôznorodé povrchy. Umožňujú leteckú činnosť zo zeme, z vodnej hladiny či zo zasneženého povrchu. Avšak globálne najrozšírenejšia letová aktivita prebieha z povrchu zemského na pevných veľkých letiskových dráhach alebo aj na malých nespevnených plochách.

Podvozok letúna zabezpečuje kontakt letúna so zemou a prenáša sily vznikajúce počas prevádzky. Umožňuje pohyb po letisku, dosiahnutie rýchlosti pre vzlet, tlmenie rázu v okamihu pristávania a zbrzdzenie pristávacej rýchlosti. Zaisťuje dostatočnú výšku nad zemským povrchom a bezpečnú vzdialenosť aj tých najnižšie siahajúcich komponentov letúna. Jedná sa o veľmi namáhanú časť letúna a jeho zlyhanie môže viesť až k vážnej havárii. Preto podvozok musí spĺňať požiadavky z rôznych oblastí súčasne. (konštrukcia, pevnosť, voľba materiálu a iné). Požiadavky závisia na type letúna, rozsahu a účelu jeho používania.

Od počiatku letectva sa postupne vyvinulo niekoľko základných typov a druhou podvozku. Každý z nich obsahuje rovnaké základné komponenty. Koleso zabezpečuje pohyb a zároveň má aj tlmiacu funkciu. Môže byť vybavené brzdou, ale nie všetky kolesá bývajú brzdené. Nad kolesom sa nachádza tlmič ktorého hlavnou funkciou je stlmenie rázového namáhania pri pristávaní alebo napríklad nerovností v prípade nespevneného povrchu. Tieto dve základné komponenty spolu spájajú podpory. Ich tvar a konštrukcia je odlišná v závislosti na type podvozku.

Z tohto konštrukčného hľadiska sa postupne vyvinuli podvozky: priehradové, samonosné a priehradovo-nosníkové. Priehradové podvozky sa používali od vzniku letectva, ich stavba pozostáva z prútovej konštrukcie, ktorá je k letúnu pripojená na viacerých miestach. Samostatné podvozky sa skladajú z jednej centrálnej tlmiacej kolesovej časti a ku konštrukcii letúna sú pripojené na jednom mieste. Priehradovo-nosníková stavba pozostáva z tlmiacej časti s kolesom, ktorá je podopretá vzperou.

Podvozky sa dajú rozdeliť podľa viacerých kritérií. Napríklad na dve skupiny pevných či zaťahovacích. Pevné podvozky sú neustále zafixované v jednej polohe pre pristávanie. Zaťahovacie podvozky sa po vzlete zatiahnu do vnútornej konštrukcie letúna, líšia sa smerom a úrovňou zatiahnutia, či zakrytia v zatiahnutej polohe. Z hľadiska polohy kolies rozoznávame tri základné druhy: podvozok s predným kolesom, so zadným kolesom a tandemový podvozok. Podvozky z predným a zadným kolesom majú tri podvozkové nohy z toho hlavný podvozok obsahuje dve a nachádza sa bližšie k ťažisku letúna. Tretia podvozková noha sa nachádza buď v prednej časti letúna alebo v zadnej chvostovej. Orientácia a charakteristika oboch usporiadaní sú si navzájom opačné. Tandemový podvozok má viac ako tri kolesá, obsahuje predné koleso, podvozkovú nohu (nohy) v ťažisku letúna a podporné podvozky umiestnené pod krídlami zabezpečujúce bočnú stabilitu letúna na zemi. Každá možnosť usporiadania či konštrukčná stavba má svoje špecifika. Vývojom konštrukcie podvozku a jeho testovaním na rôznych druhoch letúnov sa postupne prejavili prednosti, ale aj nedostatky každej jednej varianty.

Všeobecne podvozok, či už určený na pohyb po zemi, snehu či vode je dôležitou a neoddeliteľnou súčasťou každého dopravného prostriedku, vrátane leteckej dopravy, bez neho by doprava nebola možná.

## 2. CHARAKTER A CIEĽ PRÁCE

Hlavný cieľ práce je vytvoriť varianty zaťahovacieho podvozku pre letún Rapid 600.

Pre dosiahnutie hlavného cieľa sa dá práca rozdeliť na dve časti:

**Prvá časť** má charakter konštrukčného návrhu podvozku pre konkrétny letún.

**Druhá časť** má charakter koncepčného návrhu ovládania podvozku tak, aby bolo možné podvozok ovládať automaticky.

### Prvá časť

Cieľom prvej časti práce je navrhnuť zaťahovací podvozok, spĺňajúci požiadavky na neho kladené pre letún s pevným podvozkom tak, aby došlo k čo najmenším úpravám pôvodnej konštrukcie pri zachovaní parametrov pevného podvozku.

Charakter tejto časti práce je v skúmaní a poznávaní vnútorného členenia konštrukcie letúna s pevným podvozkom, hľadani a návrhu vhodného spôsobu zatiahnutia podvozku. V následnom rozbere možností zaťahovania odhaliť vhodnosť použitia každej navrhutej varianty pre letún Rapid 600. Voľba najvýhodnejšej varianty zaťahovania.

### Druhá časť

Cieľom druhej časti práce je navrhnuť spôsoby ovládania podvozku tak, aby bolo možné jeho automatické ovládanie (vysunutie) v prípade zistenia kritických režimov. Má sa dosiahnuť automatické zasúvanie podvozku počas vzletu a automatické vysunutie počas pristávania. Celkovo systém má znížiť psychickú záťaž pilota.

Charakter tejto časti práce spočíva v popise systémov ovládania podvozku a návrhu automatickej sústavy tak, aby slúžila pilotovi ako pomocná podporná súčasť vybavenia letúna. V rámci tejto časti práce sa určia funkcie systému a vypracuje sa analýza kritických režimov, ktorej cieľom je popísanie možnosti systému na odhalenie nebezpečných situácií s následným vyhodnotením a upozornením pilota.

### 3. LETÚN RAPID 600 A JEHO PODVOZOK

#### 3.1 Popis letúna Rapid 600

Letún je spoločným dielom Leteckého ústavu fakulty Strojného inžinierstva VUT v Brne a firmy Jihlavan Airplanes. Letecký ústav sa zameral na výskum a vývoj letúna, spracoval aerodynamické a pevnostné výpočty. Jihlavan Airplanes zaistil konštrukčné, výrobné a technologické práce. Jedná sa o jednomotorový, celokovový (duralové tenké plechy a nosníky), dvojsedadlový dolnoplošník s pevným podvozkom. Kompozitné materiály sa využili na kabínovú časť, winglety a prechody krídiel, motorový kryt a koncové oblúky chvostových plôch. Letún je navrhnutý tak, aby spĺňal požiadavky predpisu UL, ale aj LSA. Komfort posádky dosahuje úroveň pohodlia vyššej kategórie letúnov so vzletovou hmotnosťou do 900 kg pri udržaní ekonomickej prevádzky ľahkého letúna. Predávaný je pod označením SKYLEADER 600. [5]



Obr. 3.1 Interiér a prvý let letúna Rapid 600 [5]

Nosná sústava sa skladá z obdĺžnikového centropłanu s profilom GA(W)-1-17% (LS-0417) na ktorý sú pripevnené vonkajšie lichobežníkové krídla. Ich profil od koreňového centropłanového prechádza do koncového profilu GA(W)-2-13% (LS-0413). Krídla sú zakončené kompozitovými wingletmi s profilom Eppler 205. Na krídle je použitá Fowlerova vztlaková klapka. [5]

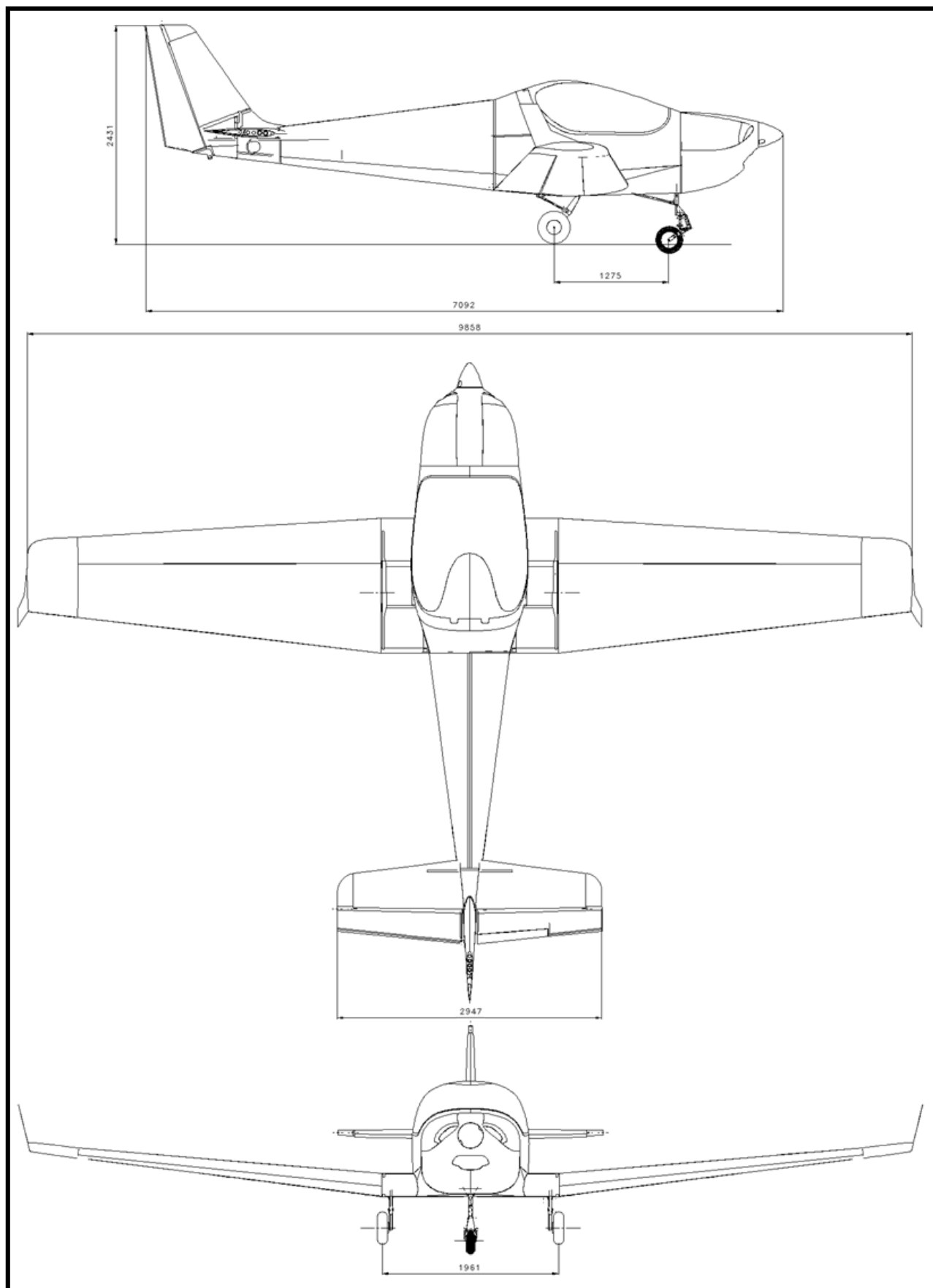
Letún Rapid 600 vznikol postupným vývojom a úpravami letúna zaniknutej spoločnosti Kappa: KP-2U Sova (Rapid 150UL). Jihlavan Airplanes pokračoval vo vývoji tohto letúna a nasledovali letúny Rapid 200UL, Rapid 500LSA a Rapid 600LSA. Úpravy sa týkali rozšírenia kabíny z 1024 mm na 1280 mm a vzletová hmotnosť sa zvýšila na 600 kg. Letúny majú geometricky zhodné krídla. [5]

Počas rokov 2008 a 2009 boli úspešne dokončené pevnostné skúšky do 100% výpočtového zaťaženia na skúšobni Leteckého ústavu. 6.4.2009 sa letún podrobil záverečnej kontrole hlavného technika LAA. 12.4.2009 bol uskutočnený prvý let letúna a 18.4.2009 sa vydal letový preukaz. Oficiálne predstavenie nového letúna sa uskutočnilo v Prahe na výstave AERO EXPO EUROPE 2009. [14]



Obr. 3.2 Oficiálne predstavenie letúna Rapid 600 [14]

## LETÚN RAPID 600 A JEHO PODVOZOK



Obr. 3.3 Muška letúna Rapid 600

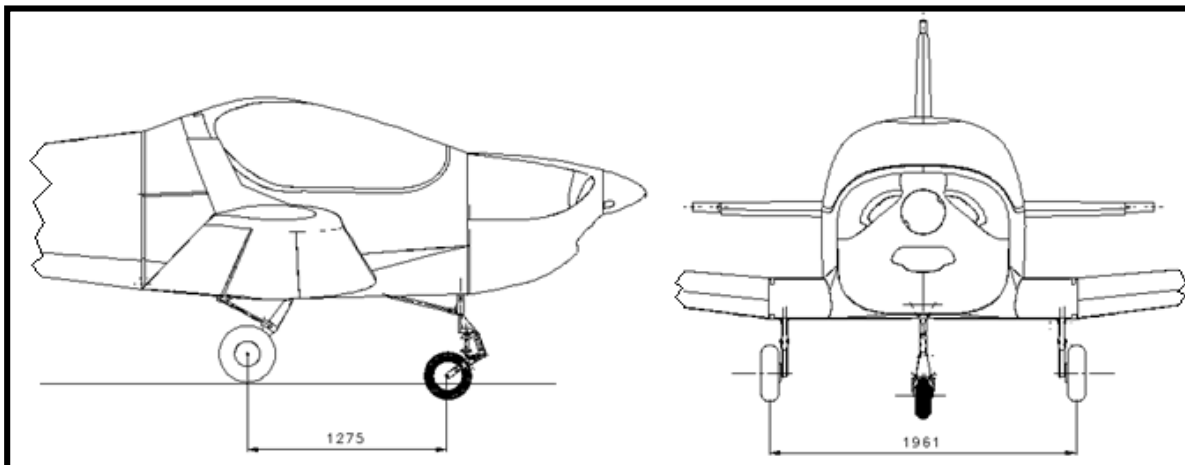
## 3.2 Základné údaje letúna Rapid 600

| Základné charakteristiky                      |                                               |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Dĺžka                                         | 7,1 m                                         |
| Celkové rozpätie                              | 9,9 m                                         |
| Efektívne rozpätie                            | 9,6 m                                         |
| Výška                                         | 2,5 m                                         |
| Plocha krídla                                 | 11,85 m <sup>2</sup>                          |
| Dolet                                         | 1350 km                                       |
| Hmotnosti                                     |                                               |
| Prázdna hmotnosť                              | 348 kg                                        |
| Maximálna vzletová hmotnosť                   | 600 kg                                        |
| Maximálna hmotnosť nákladu                    | 30 kg                                         |
| Krídlo                                        |                                               |
| Štíhlosť krídla                               | 7,78                                          |
| Hĺbka koreňového profilu a centropłanu        | 1,5 m                                         |
| Hĺbka koncového profilu                       | 0,8294 m                                      |
| Hĺbka strednej geometrickej tetivy            | 1,234 m                                       |
| Hĺbka strednej aerodynamické tetivy           | 1,2736 m                                      |
| Poloha počiatku strednej aerodynamické tetivy | $x_{SAT} = 0,07471$ m<br>$y_{SAT} = 2,1563$ m |
| Zúženie                                       | 0,552 (1,811)                                 |
| Uhol skrútenia koncového profilu              | -1°                                           |
| Uhol vzopätia                                 | 6°                                            |
| Uhol šípu (k 25%)                             | 0,8°                                          |
| Uhol nastavenia koreňového profilu (k ZRT)    | 2°                                            |
| Poloha hlavného nosníku                       | 33 %                                          |
| Poloha zadného nosníku                        | 66 %                                          |
| Výchyľky klapky a krídeliek                   |                                               |
| Vztlakové klapky                              | vzlet 10° ± 2°, pristávanie 35° ± 2°          |
| Krídeldká dole                                | dole +16° ± 1°, hore -24° ± 1°                |
| Kormidlo vodorovnej chvostovej plochy         | dole 28° ± 2°, hore 33° ± 2°                  |
| Kormidlo zvislej chvostovej plochy            | vľavo 28° ± 2°, vpravo 28° ± 2°               |
| Rýchlosti (IAS)                               |                                               |
| Pádová bez klapiek                            | 81 kmh <sup>-1</sup>                          |
| Pádová s klapkami                             | 68 kmh <sup>-1</sup>                          |
| Cestovná                                      | 230 kmh <sup>-1</sup>                         |
| Neprekročiteľná                               | 260 kmh <sup>-1</sup>                         |
| Maximálna horizontálna                        | 300 kmh <sup>-1</sup>                         |
| Maximálna rýchlosť pre vysunutie podvozku     | 150 kmh <sup>-1</sup>                         |
| Maximálne stúpanie                            | 4,5 ms <sup>-1</sup>                          |
| Maximálne klesanie                            | 6 ms <sup>-1</sup>                            |
| Pohon a výkon                                 |                                               |
| Motor                                         | 1x Rotax 912 UL alebo 914 UL                  |
| Maximálny objem paliva                        | 2x60 l                                        |

Tab. 3.1 Základné technické údaje letúna RAPID 600 [4], [5], [14]

### 3.3 Podvozok letúna Rapid 600

Rapid 600 má pevný podvozok. Vzdialenosť predného a hlavného podvozku (rázvor) je 1275 mm. Predný aj hlavný podvozok je vybavený gumovými tlmičmi. Na zníženie odporu podvozku sa môžu kolesá vybaviť aerodynamickým krytom.



Obr. 3.4 Pevný podvozok letúna Rapid 600

#### Predný podvozok

Predné koleso je riadené a nachádza sa v ose súmernosti letúna a je ukotvené v draku letúna za motorom. Oproti predchádzajúcim typom rady Rapid má predný podvozok posunutý dozadu a je uchytený za prepážku oddelujúcou trup kabíny a priestor motoru. Predné koleso má rozmery 300 x 85 mm a neobsahuje brzdu.



Obr. 3.5 Predná podvozková noha

#### Hlavný podvozok

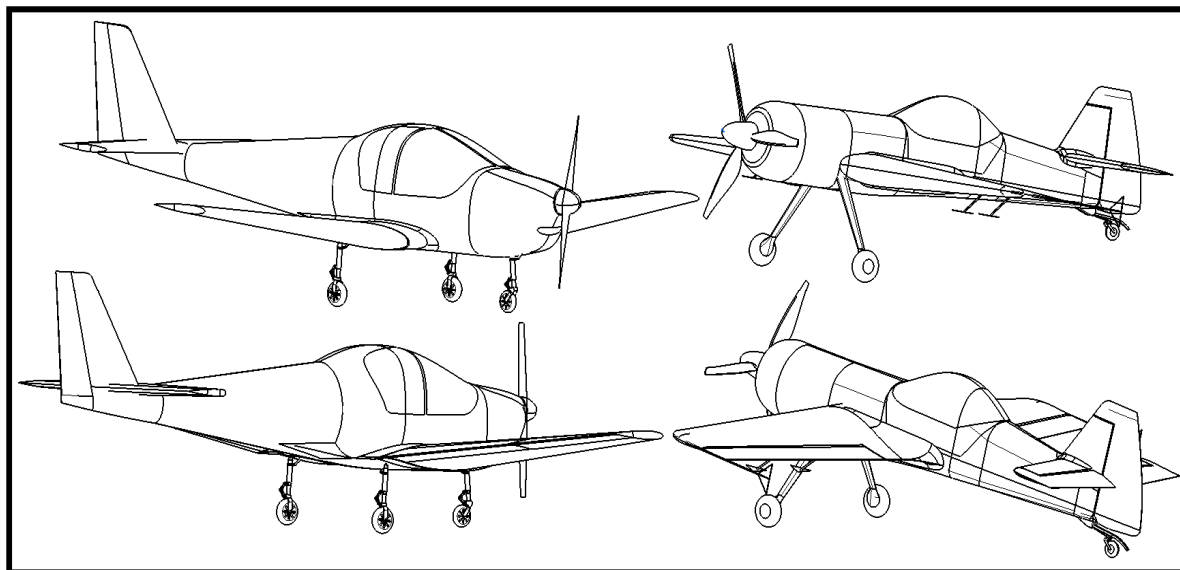
Hlavný podvozok je ukotvený v centroplánu letúna. Kolesá hlavného podvozku sú brzdené a majú rozmery 350 x 115 mm s rozchodom 1961 mm medzi sebou.



Obr. 3.6 Hlavná podvozková noha

## 4. VŠEOBECNÝ POPIS PODVOZKU S PREDNÝM KOLESOM

### 4.1 Základná charakteristika



Obr. 4.1 Základné druhy podvozkov

Na obr. 4.1 sú dva najpoužívanejšie druhy podvozkov, v ľavo je podvozok z predným kolesom a v pravo podvozok z kormovým kolesom. Obidva druhy majú tri kolesá s ktorých dve tvoria hlavný podvozok a tretie sa nachádza buď pred hlavným podvozkom v prednej časti trupu alebo vzadu. Hlavný rozdiel v usporiadaní oboch podvozkov je v ich polohe ku ťažisku letúna. U podvozku z predným kolesom sa hlavný podvozok nachádza za ťažiskom letúna, kým u podvozku z kormovým kolesom je ťažisko za hlavným podvozkom. [1], [2], [3]

Keďže návrh podvozku spočíva v návrhu podvozku z predným kolesom ďalší text je zameraný na jeho charakteristiku a vlastnosti.

#### Priebeh a charakter pristávania

V prvej časti pristávania sa zeme najprv dotkne hlavný podvozok. Potom sa letún nachádza v stave, keď približne 2/3 vztlaku krídla stále nesie hmotnosť letúna, a teda 1/3 hmotnosti letúna už podopiera hlavný podvozok. Nasleduje klopenie letúna na predný podvozok a postupné prenášanie celej hmotnosti letúna na tri podpery, podvozkové nohy.

Oproti kormovému podvozku je vrťuľa v priebehu pristávania viac chránená proti kontaktu so zemou a dochádza k menšiemu naskakovaniu letúna. [1], [2], [3]

#### Nedostatky

- keď nastane porucha predného podvozku (napr. zlomenie nohy) môžu nastať aj katastrofické následky.
  - ťaženie predného kolesa na jednomotorovom letúne môže vyvolať problémy s nedostatkom miesta na umiestnenie podvozku z dôvodu prítomnosti motora. Neraz je potreba predné koleso umiestniť mimo osu súmernosti, aby sa dal podvozok zatiahnuť.
  - u predného kolesa hrozí bočné kmitanie
  - brzdenie hlavného podvozku dodáva prídavné zaťaženie prednému kolesu.
- [1], [2], [3]

### Prednosti

- so vzájomnej polohy ťažiska a podvozku vyplýva, že väčšie zaťaženie prenáša hlavný (zadný) podvozok, približne 80-94%, predné koleso je zaťažené približne 6-20% z celkového zaťaženia podvozku.  
Pomer preneseného zaťaženia sa mení od konkrétneho druhu letúna.
  - poloha ťažiska pred hlavným podvozkom napomáha k smerovej stabilite, lepšej kontrole ovládania a tým aj k bezpečnosti pri posunovaní na zemi a pri pristávaní za vetra.
  - pri menšej vzdialenosti predného a zadného podvozku je možné dosiahnuť malého polomeru otáčania.
  - podlaha kabíny je v takmer vodorovnej polohe, čo prispieva k lepšiemu a ľahšiemu rozhľadu z kabíny pri posunovaní, vzlete aj pristávaní letúna.
  - prudké brzdenie hlavného podvozku nespôsobí prevrátenia letúna na vrtuľu.
- [1], [2], [3]

### 4.2 Porovnanie pevného a zaťahovacieho podvozku

Hlavnou nevýhodou pevného podvozku za letu je, že vykazuje aerodynamický odpor, 6-8% celkového odporu letúna a tým znižuje rýchlosť letu o 3-4%. Na zmiernenie tohto dopadu sa často používajú zakryté kolesá s aerodynamickým krytom. Kryt na splnenie účelu musí veľmi tesne opisovať koleso, čo prináša komplikácie v prevádzke v podobe hrozby zablokovania kolies pri zanesení krytu nečistotami hlavne pri trávnatom letisku. Výhodou pevného podvozku oproti zaťahovaciemu je, že nepotrebuje zaťahovací mechanizmus, ktorý zaberá miesto v konštrukcii a má určitú hmotnosť. Na druhej strane znížením odporu celého letúna zatiahnutým podvozkom sa získa väčšia rýchlosť. Táto rýchlosť je väčšia než strata rýchlosti vplyvom zvýšením hmotnosti pridaním zaťahovacieho mechanizmu. V praxi sa zaťahovací podvozok vyskytuje u letúnov, ktoré dosahujú rýchlosti letu  $\sim 250 \text{ kmh}^{-1}$ . [1], [2], [3]

### 4.3 Požiadavky na podvozok

Pre bezpečnú a spoľahlivú funkciu musia podvozky spĺňať isté požiadavky.

#### Konštrukčné požiadavky

- jednoduchosť, z čoho vyplýva menšia pravdepodobnosť poruchy.
- nízka hmotnosť, zvyčajne sa pohybuje  $\sim 4\text{-}8\%$  hmotnosti letúna a  $1/3\text{-}1/2$  hmotnosti krídla.
- dostatočujúca pevnosť a tuhosť pri rôznych druhoch zaťaženia splňujúca predpis.
- odpovedajúce rozmery, žiadna časť letúna sa pri posunovaní, vzlete a pristávaní nesmie dotýkať zeme.
- ochrana proti rozkmitaniu. Ak by sa podvozok rozkmital s frekvenciou vlastných kmitov došlo by k jeho odtrhnutiu.

#### Požiadavky za letu

- nízky odpor.



### **Podvozok na zemi musí spĺňať**

- stabilita, ochrana proti prevráteniu.
- dobrá ovládateľnosť pri posunovaní, dostatočný polomer otáčania.
- dostatočne presná odozva na riadenie .
- účinný brzdový systém.
- dobré prekonávanie menej kvalitného povrchu, u letúnov, kde sa predpokladá prevádzka na trávnatých a nespevnených letiskách.

### **Požiadavky pri pristávaní**

- účinný brzdový systém so zaistením neprešmykovania a nezablokovania kolies.
- dostatočné tlmenie, čím väčšie tlmenie, tým menšie zaťaženie podvozku s menšími rozmermi a hmotnosťou.
- stálosť geometrie podvozku pri tlmení. Pri tlmení je potreba zaistiť čo najmenšie posúvanie kolies v smere pozdĺžnej osi letúna a nemenného rozchodu kolies.
- stabilita pri pristaní s bočným vetrom.

### **Prevádzkové požiadavky**

- nízka cena.
- jednoduchá údržba.
- dobrý prístup pre pravidelné a predletové kontroly.
- nenáročná výmena poškodených častí.

### **Požiadavky na ťahovací podvozok**

- čo najjednoduchší mechanizmus ťahovania.
  - čo najnižšia hmotnosť podvozku, 3,5-7 % hmotnosti celého letúna.
  - dostatočujúca pevnosť a tuhosť pri rôznych druhoch zaťaženia splňujúca predpis.
  - doba zatiahnutia a vytiahnutia u menších lietadiel menšia ako 8-12 s.
  - bezpečné uzamknutie podvozku v oboch krajných polohách: vysunuté /zasunuté.
  - nutná signalizácia do kabíny pri dosiahnutí a uzamknutí podvozku v oboch krajných polohách.
  - umožnenie a nenáročnosť prístupu pre kontrolu, údržbu a výmenu častí podvozku ťahovacieho mechanizmu.
  - pri poruche možnosť núdzového ovládania podvozku.
  - nutnosť dostatočne veľkého priestoru na zatiahnutie, pri používaní sa po nejakom čase pneumatika zväčší o 8% v priemere a o 7% na šírku.
  - pri použití podvozku s úplným zatiahnutím kolies a následným uzavretím dierkami je nutné navrhnuť dierka čo najmenších rozmerov.
  - nízka cena, 2-4% ceny celého letúna.
- [1], [2], [3]

### **Zadané požiadavky na podvozok**

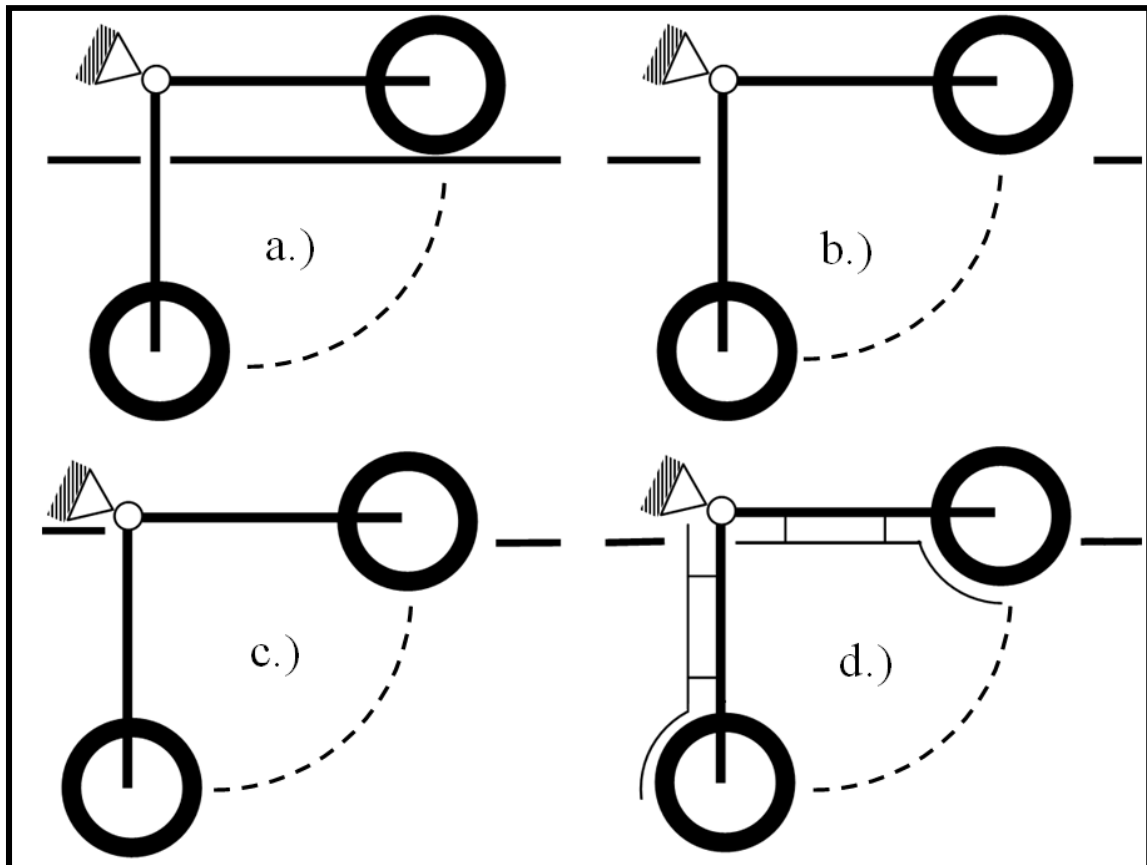
- návrh celého podvozku by mal čo najmenej zasiahnuť do súčasnej konštrukcie letúna.
- zaistenie bezpečnej automatickej funkcie vysúvania v prípade kritických režimov.
- súčasné návrhové parametre podvozku musia byť zachované.
- návrh musí vyhovieť požiadavkám predpisu: UL-2, LSA a prípadne CS-VLA.
- zvýšenie bezpečnosti letu a pristávania.
- znížením psychickej záťaže pilota.

## 5. NÁVRH ZAŤAHOVACIEHO PODVOZKU

### 5.1 Úrovne zatiahnutia podvozku

Na obr. 5.1 sú zobrazené možné úrovne zatiahnutia podvozku:

- a.) úplným zatiahnutím kolies a následným uzavretím dierkami.
- b.) úplným zatiahnutím kolies bez uzavretia.
- c.) čiastočným zatiahnutím kolies.
- d.) čiastočným zatiahnutím kolies s aerodynamickým krytom nohy a kolesa podvozku.



Obr. 5.1 Úrovne zatiahnutia podvozku

Všetky možnosti zabezpečujú zníženie aerodynamickej odporu za letu. Letún s podvozkom a.) má po zatiahnutí najčistejší aerodynamický tvar, čo zabezpečuje najmenší odpor, ale vyžaduje prídavný mechanizmus na ovládanie zákrytových dvierok, čo sa prejaví na hmotnosti, zložitosti a aj cene. Výhodou podvozku c.) je, že škody spôsobené pri núdzovom pristávaní „na brucho“, na spodnej časti letúna budú určite nižšie ako pri úplne zatiahnutom podvozku. K pristávaniu „na brucho“, môže dôjsť pri chybe pilota, poruche, pri ktorej vysunutie podvozku a tým zväčšením odporu by nedovolilo dosiahnutie (dokázanie) vhodného terénu na núdzové pristávanie, alebo porucha vyťahovania podvozku. Možnosť d.) má oproti c.) nižší odpor za letu. Nevýhodou je väčší odpor pri vzlete, ktorý ale pri pristávaní napomáha brzdeniu letúna. Pri podvozku b.) vzniknutá diera po zatiahnutí by pôsobila v dôsledku cirkulácie vzduchu ako brzda. Táto možnosť je s tohto hľadiska horšia ako ostatné. Rozhodnutie o úrovni zaťahovania závisí hlavne na cene, typu letúna a požiadavku zákazníka či výrobcu.

## 5.2 Rozbor predného a hlavného podvozku

V nasledujúcej časti sa zanalyzujú základné druhy kinematických mechanizmov, ich vhodnosť na použitie v súčasnej konštrukcii a voľba s odôvodnením spôsobu zaťahovania podvozku. Tieto časti sú uvažované z ohľadom na:

### Základné druhy kinematických mechanizmov podvozku

Rozbor je zameraný na základné druhy mechanizmov, ktoré pripadajú do úvahy pre typ letúna Rapid 600: jednomotorový dolnoplošník s predným kolesom uchyteným v oblasti motora a hlavným podvozkom uchyteným v centroplánu.

### Zatiahnutie podvozku v súčasnej konštrukcii letúna

Pre splnenie zadaného požiadavku na čo najmenší zásah do danej konštrukcie z pevným podvozkom má čo najmenšoročnejšia úprava danej konštrukcie pre zatiahnutie podvozku výrazný vplyv na voľbu spôsobu zaťahovania. Pri analýze vhodných možností zaťahovacieho podvozku sa využije podrobný 3D model letúna Rapid 600 poskytnutý firmou Jihlavan Airplanes.

### Voľba a odôvodnenie spôsobu zaťahovania podvozku

Pri voľbe spôsobu zaťahovania predného i hlavného podvozku boli vzaté v úvahu tieto faktory: splnenie zadania, obecné požiadavky na zaťahovací podvozok, vlastnosti typov zaťahovacích podvozkov, typ a účel používania letúna Rapid 600, vnútorné usporiadania danej konštrukcie, rozbor možných spôsobov zaťahovania, počet a závažnosť nutných úprav konštrukcie pre pevný podvozok a náročnosť spojenia kinematického mechanizmu predného kolesa a hlavného podvozku.

Tento rozbor je obsahom aj správy pre grant Leteckého ústavu:

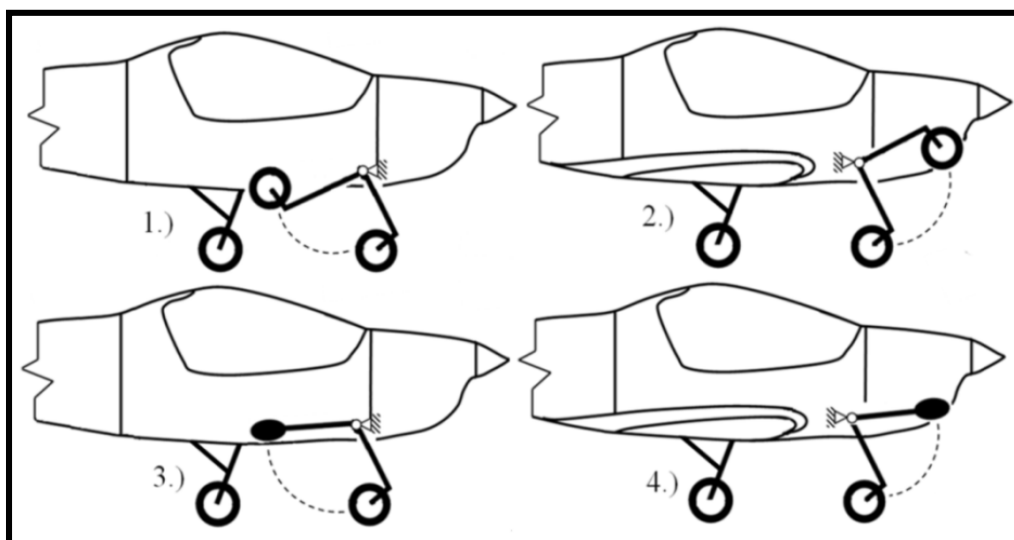
LU22-2010-JA6.DE: Návrh zaťahovacieho podvozku pre letún Rapid 600.

## 5.3 Analýza predného podvozku

### 5.3.1 Základné druhy kinematických mechanizmov predného podvozku

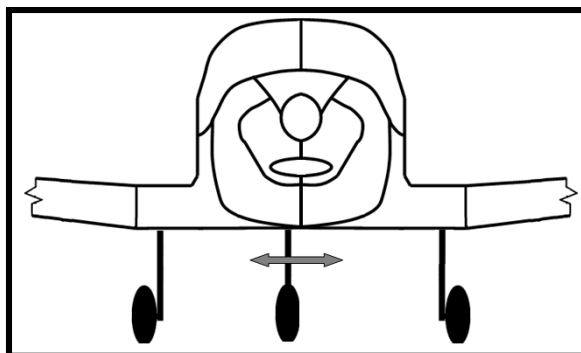
#### Základné možnosti na zatiahnutie predného kolesa

- |                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| 1.) dozadu             | 2.) dopredu             |
| 3.) dozadu s natočením | 4.) dopredu s natočením |



Obr. 5.2 Základné druhy zaťahovania predného kolesa

Všetky štyri možnosti by sa dali konštrukčne navrhnuť aj ako čiastočne zasunutý aj ako úplne zasunutý predný podvozok v závislosti od rozmerov predného kolesa a miesta v prednej časti letúna. V prípade nutnosti núdzového vysunutia podvozku je výhodnejšia možnosť 2 a 4.). K vytiahnutiu do polohy na pristávanie pomáha hmotnosť predného podvozku a dynamický tlak. [2] Nevýhodou možností 3.) a 4.) je zabratie väčšieho miesta v priečnom smere a nutný dodatočný mechanizmus otáčajúci koleso o  $90^\circ$ , ktorý zvýši hmotnosť prednej podvozkovkej nohy. Pre núdzové pristávanie so zasunutým podvozkom sú tieto možnosti oproti 1.) a 2.) menej výhodné. Pre nevýhody spojené s otočením predného kolesa o  $90^\circ$  sa možnosti 3.) a 4.) v ďalšom rozbere nebudú uvažovať.

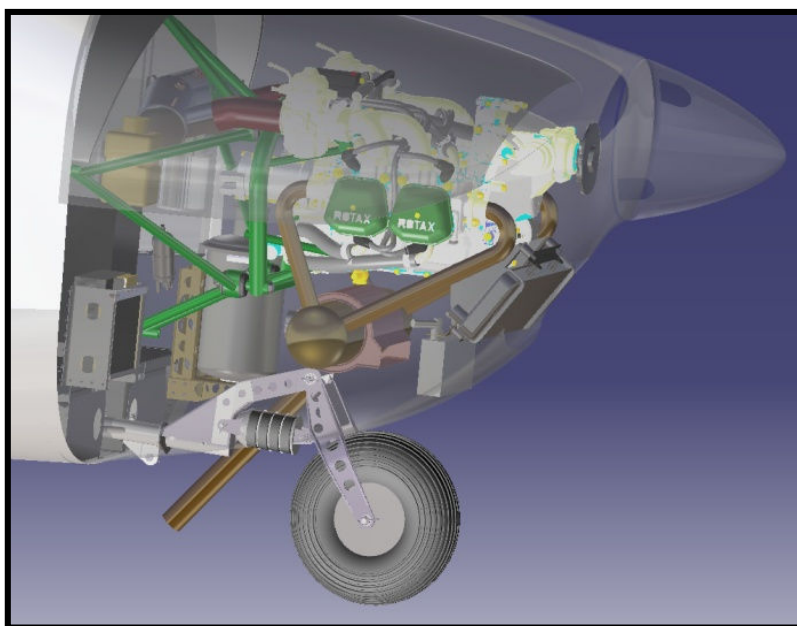


Obr. 5.3 Vyosenie prednej podvozkovkej nohy

V prípade, ak motor alebo vnútorná konštrukcia trupu neumožní priestor na zatiahnutie predného kolesa v ose súmernosti, musí sa jeho poloha upraviť tak, aby zasunutie bolo možné, obr. 5.3. Pri malých výchylkách od osy súmernosti letúna sa to na ovládateľnosti letúna na zemi neprejaví takmer vôbec. Vnútorné usporiadanie konštrukcie letúna Rapid 600 umožňuje zástavbu prednej podvozkovkej nohy v osi súmernosti letúna, vid' nasledujúce obrázky.

### 5.3.2 Zatiahnutie predného podvozku dopredu

Na obr. 5.4 je znázornenie hlavných komponentov nachádzajúcich sa v prednej časti trupu. Predný podvozok je zobrazený v polohe pre zatiahnutý stav smerom dopredu pri zástavbe v rovnakom mieste ako pre pevný podvozok.

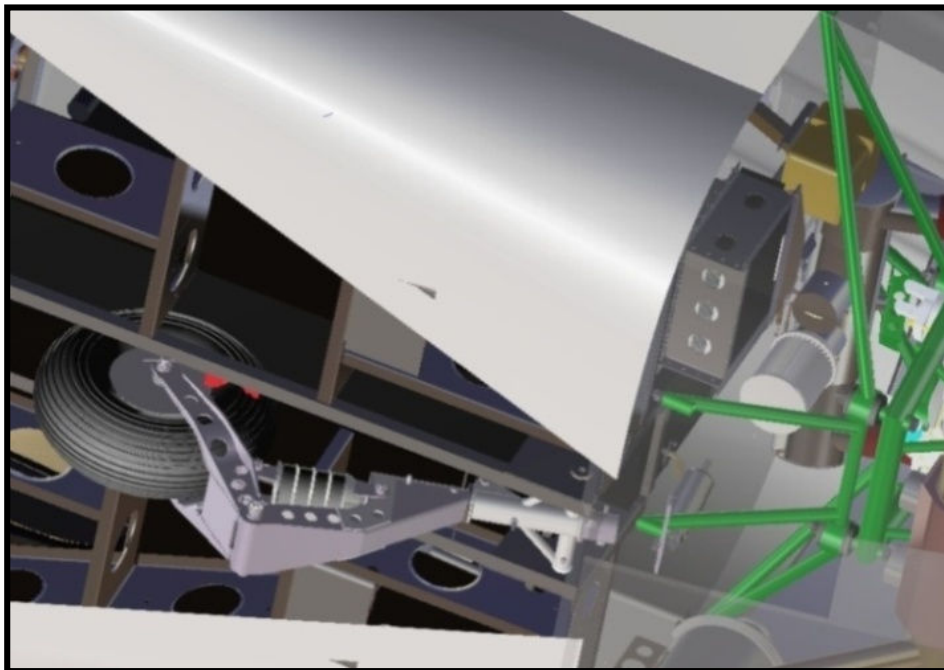


Obr. 5.4 Zatiahnutie predného podvozku dopredu

Z vnútorného usporiadanie je zrejmé, že pre dostatočné zatiahnutie smerom dopredu nie je miesto. Pre dosiahnutie potrebného miesta by sa musela prerobiť výfuková sústava letúna, na obr. 5.4 znázornená hnedou farbou.

### 5.3.3 Zatiahnutie predného podvozku dozadu

Na obr. 5.5 je predný podvozok uchytený v rovnakom mieste ako pevný podvozok a je zatiahnutý čiastočne smerom dozadu. Červenou farbou je označený komponent konštrukcie zasahujúci do pneumatiky a disku, ktorý by potreboval úpravu.

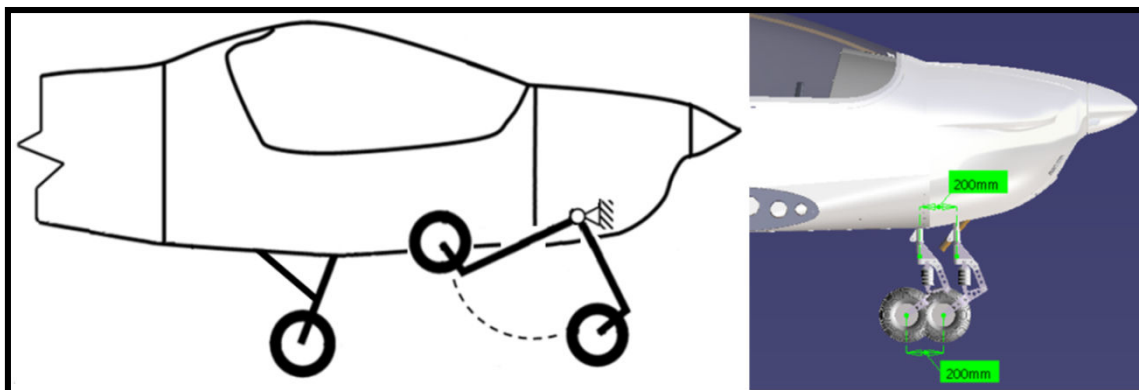


Obr. 5.5 Zatiahnutie predného podvozku dozadu

Táto možnosť zatiahnutia by vyžadovala iné umiestnenie tohto komponentu spájajúceho pomocou dolných uholníkov stredový dolný tunel trupu. Jednalo by sa o posun súčiastky smerom dopredu alebo dozadu, prípadne jej nahradenie dvoma časťami umiestnenými pred a za kolesom v zatiahnutej polohe.

### 5.3.4 Posun predného podvozku dopredu a zasunutie dozadu

Pre zníženie zaťaženia predného podvozku by sa podvozok musel posunúť dopredu. Na obr. 5.6 vľavo je schematicky znázornenie posunu a vpravo predpokladaný maximálny možný posun 200 mm oproti polohe pre pevný podvozok dovolený prednou dolnou časťou konštrukcie trupu (krytu).



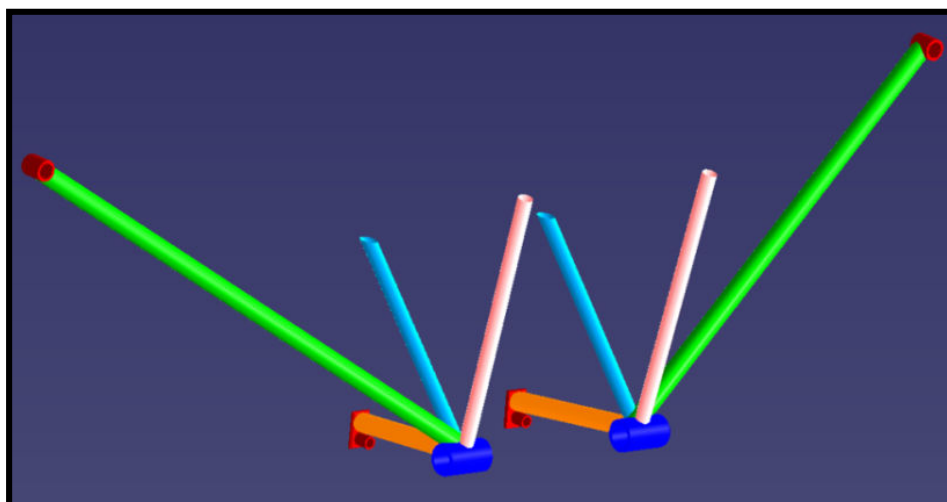
Obr. 5.6 Posun predného podvozku dopredu,

V tab. 5.1 je zobrazenie zmien v maximálnom prevádzkovom zaťažení predného podvozku pre pôvodnú polohu a pre posunutú polohu dopredu o 200 mm. Tabuľka uvažuje najkritickejšie polohy ťažiska pre zaťaženie podvozku, viď kap. 7. Výpočet je robený podľa prílohy 3: Výpočet zaťaženia podvozku vo formáte MS Excel.

| Maximálne zaťaženie predného pevného podvozku |                 |                    |                     |                        |                        |
|-----------------------------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Zaťaženie                                     |                 | Pôvodná poloha [N] | Posunutá poloha [N] | Rozdiel v zaťažení [N] | Zníženie zaťaženia [%] |
| 21,5% SAT                                     | Vertikálna sila | 9372               | 8111                | -1261                  | ~ 13,45%               |
|                                               | Odporová sila   | 2706               | 2342                | -364                   |                        |
|                                               | Bočná sila      | 1526               | 1321                | -205                   |                        |
| 24,6% SAT                                     | Vertikálna sila | 8596               | 7439                | -1157                  |                        |
|                                               | Odporová sila   | 2482               | 2148                | -334                   |                        |
|                                               | Bočná sila      | 1400               | 1211                | -189                   |                        |

Tab. 5.1 Dôsledok posunutia predného podvozku dopredu

Z vypočítaných hodnôt je zrejmé, že zaťaženie posunutého predného podvozku sa zníži približne 13,45%. Zníženie zaťaženia prispieva k vyššej bezpečnosti podvozku a možnosti podvozok odľahčiť. Posunutý predný podvozok by sa uchytil na motorové lôžka, pre ktoré sa navrhlo rozšírenie, obr. 5.7.

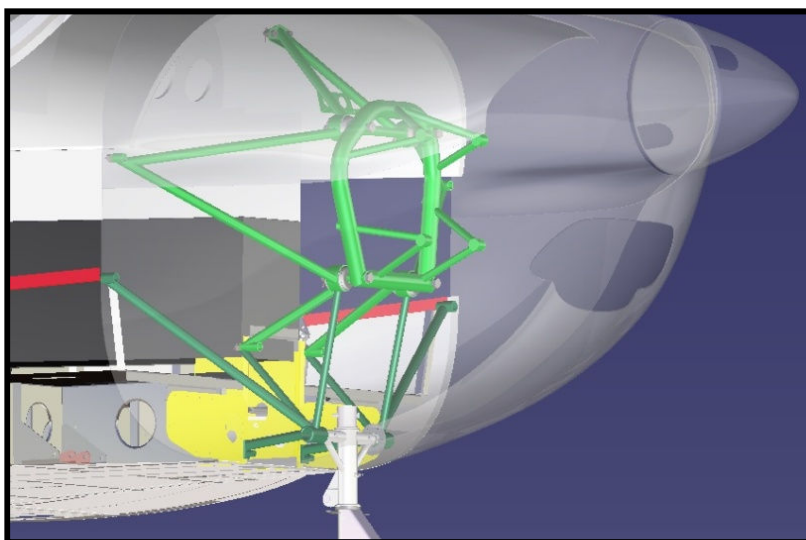


Obr. 5.7 Navrhnuté rozšírenie motorových lôžok

Konštrukcia rozšírených motorových lôžok je symetrická podľa osi súmernosti letúna. Každú stranu podpierajú štyri prúty. Dva sa napoja na pôvodné motorové lôžka a dva na nosné časti konštrukcie trupu pomocou skrutiek zobrazených červenou farbou na obr. 5.7. Na obr. 5.8 je znázornenie spojenia rozšírenej časti motorových lôžok (tmavo zelená farba) s pôvodnými lôžkami a s konštrukciou kabínovej časti trupu. Modrý prút (obr. 5.7) sa napojí na pôvodné motorové lôžka v mieste ich uchytenia na konštrukciu trupu.

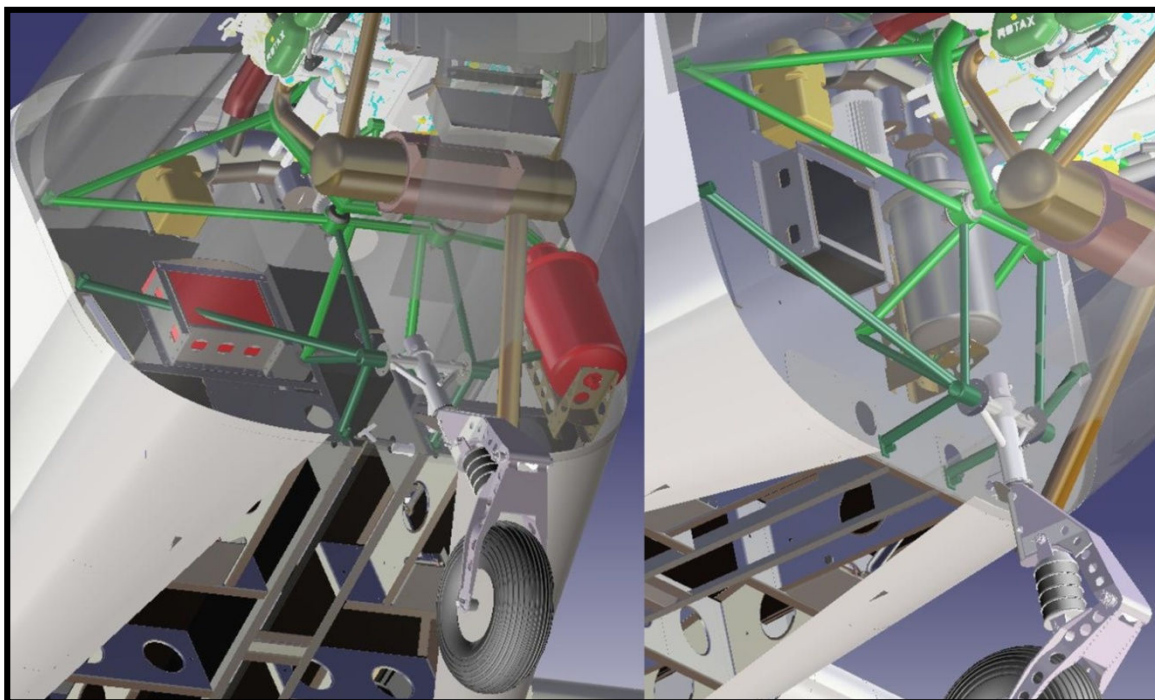


Ružový prút sa spojí z dolným silentblokom. Zelená časť rozšírených motorových lôžok sa napojí na nosný uholník na boku dolnej kabínovej časti trupu označený červenou farbou na obr. 5.8. Na dolný uholník stredového dolného tunela a dolné zosilnenie prepážky medzi prednou a kabínovou časťou trupu (žltá farba, obr. 5.8) sa napojí oranžová časť rozšírených motorových lôžok. Spojenie novej časti lôžok na štyroch miestach s pôvodnými lôžkami a na štyroch miestach z konštrukciou trupu v nosných častiach má zabezpečiť bezpečnú a spoľahlivú zástavbu prednej podvozkovej nohy. Všetky prúty prenášajú sily od predného podvozka na spomínané oporné body trupu a pôvodné motorové lôžka.



Obr. 5.8 Zástavba rozšírených motorových lôžok

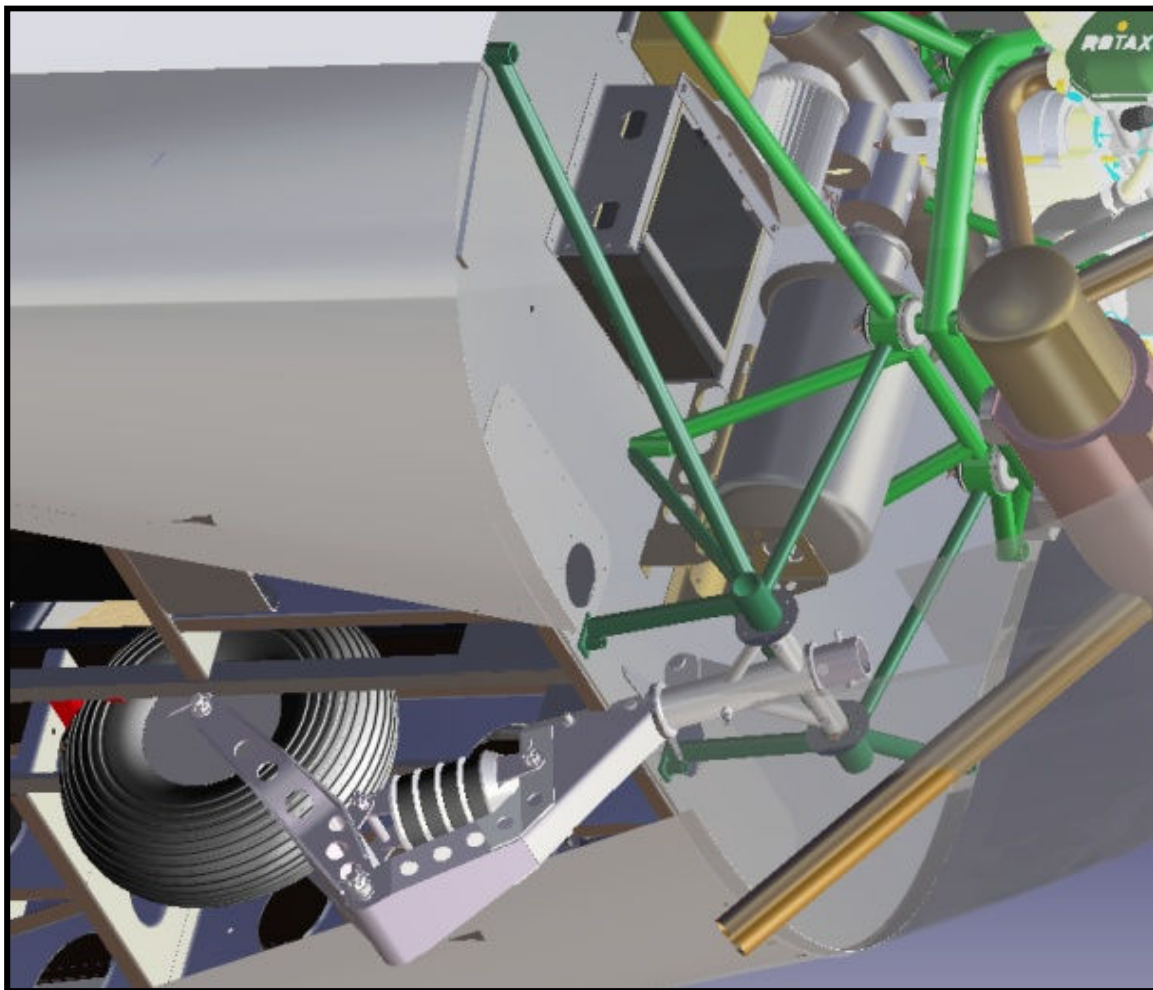
Na obr. 5.9 sú zobrazené rozšírené motorové lôžka spolu s motorom a všetkými hlavnými časťami nachádzajúcimi sa v danom priestore. Na ľavej strane sú červenou farbou vyznačené komponenty zasahujúce do bočných prútov novej časti lôžok. Pravá strana obrázku ukazuje návrh nového umiestenia daných komponentov tak, aby nezasahovali do novej časti motorových lôžok.



Obr. 5.9 Rozšírené motorové lôžka s motorom

Tým, sa uvažuje zatiahnutie pôvodného pevného podvozku, by sa rozšírená časť motorových lôžok dala použiť aj na zástavbu pevného podvozku. Táto možnosť by rovnako znížila zaťaženie a zvýšila bezpečnosť pevného predného podvozku ako je tomu u zaťahovacej varianty.

Na obr. 5.10 je zobrazený predný podvozok uchytený na motorových lôžkach v čiastočne zatiahnutom stave a červenou farbou je označená časť konštrukcie brániaca zasiahnutiu. I napriek posunu dopredu pneumatika zasahuje do priečnej spojovacej časti dolných uholníkov rovnako ako vo variante z bodu 5.3.3. Táto súčiastka by vyžadovala posunúť dozadu, tak aby sa dal predný podvozok zatiahnuť.



Obr. 5.10 Zatiahnutie predného podvozku posunutého dopredu

### 5.3.5 Voľba spôsobu zaťahovania predného podvozku

Všetky navrhnuté varianty zaťahovania uvažujú s použitím pôvodnej konštrukcie prednej pevnej podvozkovej nohy. V tab. 5.2 je súhrn predchádzajúcich kapitol týkajúcich sa rozboru predného podvozku a obsahuje len rozdiely medzi jednotlivými možnosťami. Nutné úpravy, ktoré sa vzťahujú na každú variantu sú opísané v odstavci za tab. 5.2



| Súhrn rozboru možných spôsobov zaťahovania predného podvozku |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                      |                                                                                |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Spôsob zatiahnutia                                           | Výhody                                                                                                                                                                                        | Nevýhody                                                                                                                             | Nutné úpravy                                                                   |
| Smerom dopredu, zástavba v mieste pevného podvozka           | Ľahšie núdzové vysunutie podvozku.                                                                                                                                                            | Nutný veľký počet úprav komponentov pod motorom.                                                                                     | Návrh novej výfukovej sústavy.                                                 |
| Smerom dozadu, zástavba v mieste pevného podvozka            | Nízky počet nutných úprav pôvodnej konštrukcie.                                                                                                                                               | —————                                                                                                                                | Posun priečky stredového dolného tunela.                                       |
| Smerom dozadu, posunutie miesta zástavby dopredu             | Zníženie zaťaženia podvozku. Zvýšenie bezpečnosti. Možnosť odľahčenia podvozku. Nízky počet nutných úprav pôvodnej konštrukcie. Možnosť rozšírené motorové lôžka použiť aj pre pevný podvozok | Nutnosť návrhu rozšírených motorových lôžok. Pridaná hmotnosť lôžok. Nutné nové umiestnenie dvoch komponentov v prednej časti trupu. | Rozšírenie pôvodných motorových lôžok. Posun priečky stredového dolného tunela |

Tab. 5.2 Súhrn rozboru predného podvozku

Každý spôsob zaťahovania by vyžadoval výrez v spodnej časti prepážky oddeľujúcej motorovú a kabínovú časť kvôli zatiahnutej polohe podvozkovej nohy, výrez z dolného poťahu trupu alebo predného krytu motora a vytvorenie dutiny pre zatiahnutý podvozok.

#### Na základe rozboru sa zvolil spôsob zaťahovania

Čiastočné zatiahnutie smerom dozadu s posunutím miesta zástavby o 200 mm dopredu a uchytenie predného podvozku pomocou rozšírených motorových lôžok.

#### 5.3.6 Odôvodnenie voľby spôsobu zaťahovania predného podvozku

##### Úroveň zatiahnutia

Letún Rapid 600 je určený na rekreačné a turistické lietanie, nevyžaduje úplné zatiahnutie podvozku a tým zvýšenie maximálnej rýchlosti a maximálnu aerodynamickú čistotu. Čiastočné zatiahnutie je zvolené z ohľadom na bezpečnejšie núdzové pristávanie so zatiahnutým podvozkom.

##### Spôsob zatiahnutia

Hlavným dôvodom voľby je zvýšenie bezpečnosti predného podvozku znížením jeho zaťaženia približne o 13,45%. Pridaná hmotnosť rozšírenej časti motorových lôžok je menej podstatná ako spomínané zníženie zaťaženia a nárast bezpečnosti. Táto hmotnosť sa dá prípadne eliminovať znížením hmotnosti predného podvozku.

## Úpravy konštrukcie

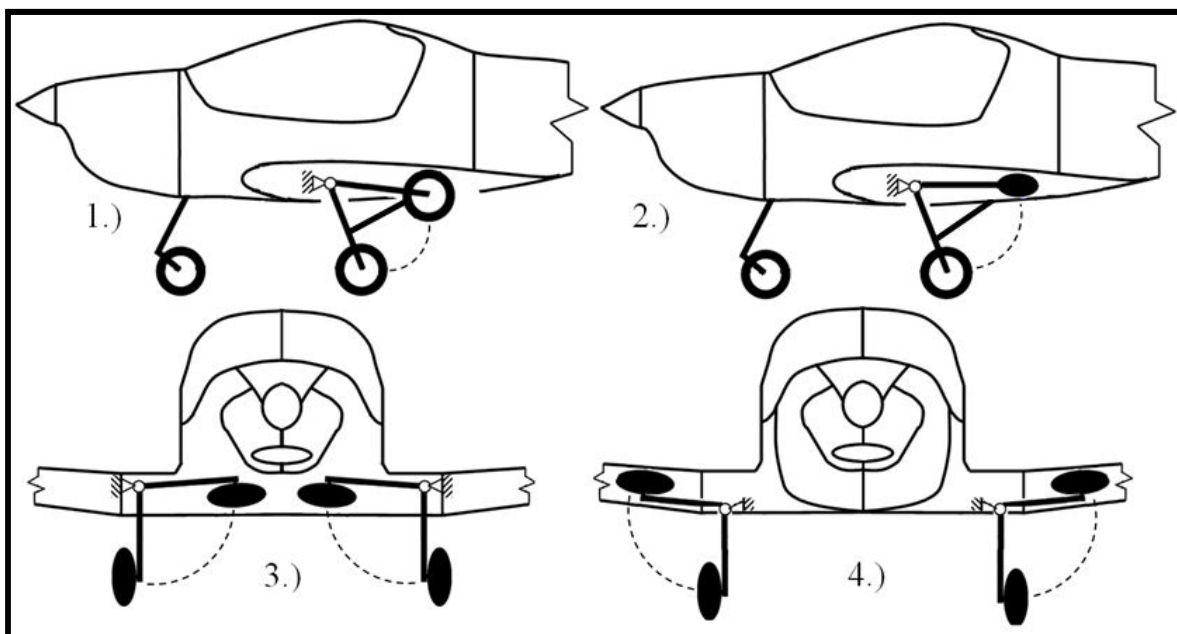
Okolie výrezu v spodnej časti prepážky oddelujúcej motorovú a kabínovú časť kvôli zatiahnutej pozícii podvozkovkej nohy by sa muselo zosilniť. Ďalšie nutné úpravy konštrukcie nevyžadujú hlavné nosné časti a majú len charakter voľby nového umiestnenia pozícií nenosných komponentov. Samozrejme ako každý zaťahovací podvozok vyžaduje výrez v dolnej časti poľahu trupu a vytvorenie nenosného krytu (dutiny) v mieste zatiahnutia podvozku s aerodynamických dôvodov (odpor).

## 5.4 Analýza hlavného podvozku

### 5.4.1 Základné druhy kinematických mechanizmov hlavného podvozku

#### Základné možnosti na zatiahnutia hlavného podvozku

- 1.) dozadu
- 2.) dozadu s natočením o  $90^\circ$
- 3.) k ose súmernosti letúna
- 4.) od osy súmernosti letúna

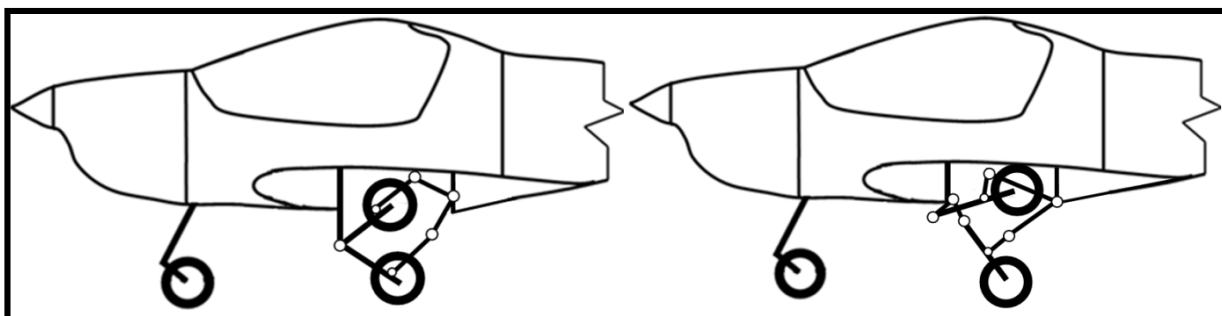


Obr. 5.11 Základné druhy zaťahovania hlavného podvozku

Možnosť 2.) predstavuje riešenie v prípadoch, keď je požiadavok na úplné zatiahnutie podvozku a pritom miesto naň chýba. Nevýhodou tejto varianty je zložitosť, vyššia cena a hmotnosť, pridaním dodatočného mechanizmu na otáčanie kolesa o  $90^\circ$ . Koleso zaberá výrazne menej miesta na jeho šírku ako na jeho priemer. Z tohto dôvodu by sa určite museli upravovať zadné rebrá. Pre nevýhody spojené s otočením o  $90^\circ$  sa možnosť 2.) v ďalšom rozbere nebude uvažovať.

### Ďalšie možnosti zatiahnutia hlavného podvozku

Na obr. 5.12 je zobrazenie možnosti zatiahnuť hlavný podvozok medzi hlavný a pomocný nosník centroplánu. Podvozok sa poskladá medzi oba nosníky. Poskladané podvozky sa používajú hlavne u veľkých dopravných letúnov.

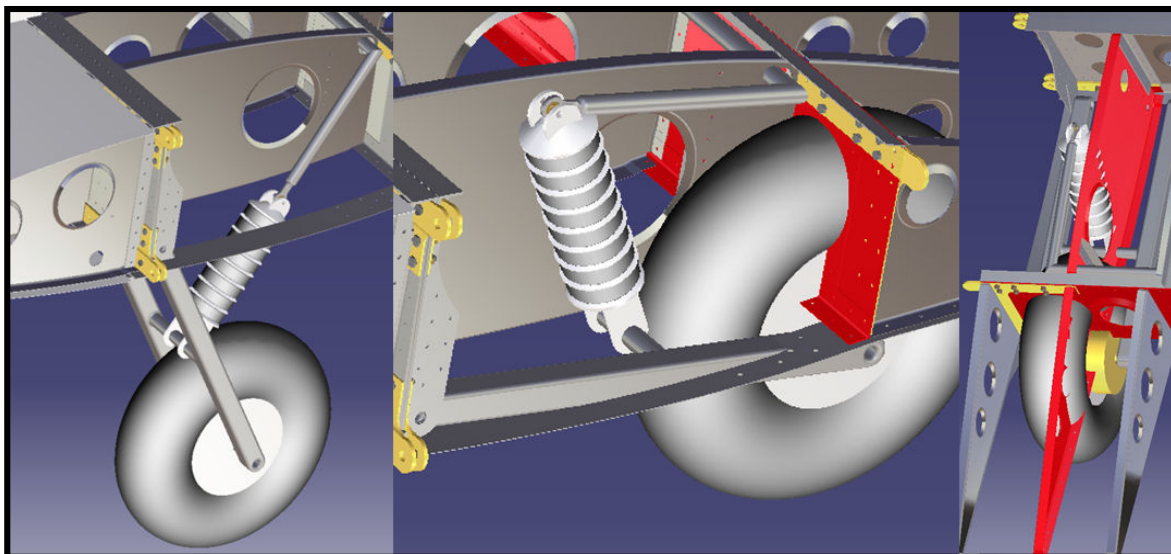


Obr. 5.12 Poskladaný hlavný podvozok medzi nosníky centroplánu

Obr. 5.12 vľavo predstavuje riešenie poskladaného podvozku pomocou zadnej zlomenej vzpery obsahujúcej tlmič. Pre dosiahnutie lepšieho poskladania a nižšieho odporu v zatiahnutom stave by sa musela poskladať aj predná hlavná vzpera podvozku, obr. 5.12 vpravo

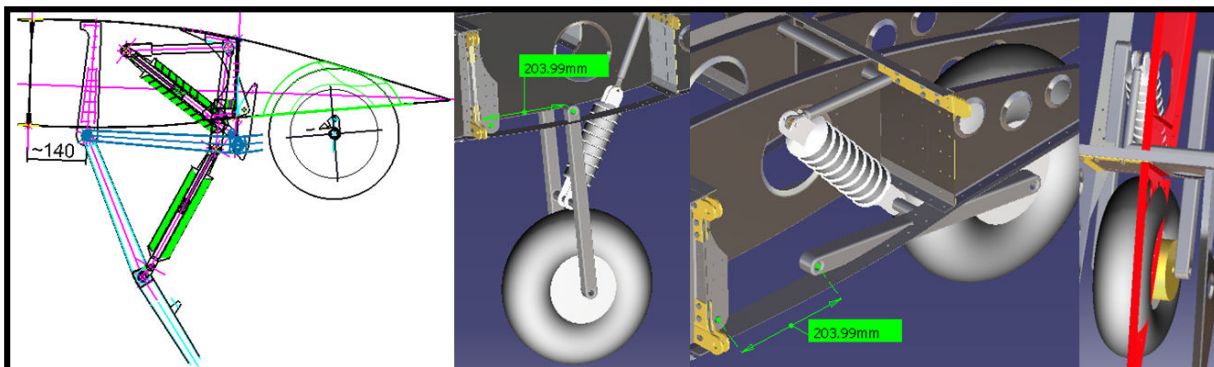
### 5.4.2 Zatiahnutie hlavného podvozku dozadu

Na obr. 5.13 je zobrazenie zaťahovania smerom dozadu pomocou zlomenej zadnej vzpery s tlmičom. Tento spôsob zaťahovania je použitý na letúne KP-2U Sova (Rapid 150UL) z ktorého sa vyvinul Rapid 600. Na obr. 5.13 vľavo je poloha kolesa vo vytiahnutom stave rovnaká ako má pevný podvozok. Na obr. 5.13 v strede a vpravo sú označeného červenou farbou všetky časti vnútornej konštrukcie centroplánu do ktorých by podvozok v zatiahnutom stave zasiahol a vyžadovali by úpravy. Podvozok zasahuje do hlavných nosných komponentov centroplánu, pomocného nosníka, stojiny a dolnej pásnice. Kvôli šírke prednej vzpery by vyžadovalo prvé rebro od krídla posun smerom k trupu aby do neho podvozok nezasahoval (obr. 5.13 vpravo). Pri použití tohto spôsobu zaťahovania na letúne Rapid 600 (600 kg) by sa vyžadoval nový návrh podvozkových nôh, alebo úprava podvozku (zosilnenie) použitého na letúne KP-2U (450 kg).



Obr. 5.13 Zatiahnutie hlavného podvozku dozadu

Tento spôsob zaťahovania by sa dal navrhnuť tak, aby nezasahoval do pomocného nosníka centroplánu, obr. 5.14 vpravo. Celý podvozok by sa musel posunúť dozadu, presne ako je to na letúne KP-2U Sova (Rapid 150UL) (obr. 5.14 vľavo [7] ), kde posun od hlavného nosníka je 140 mm.

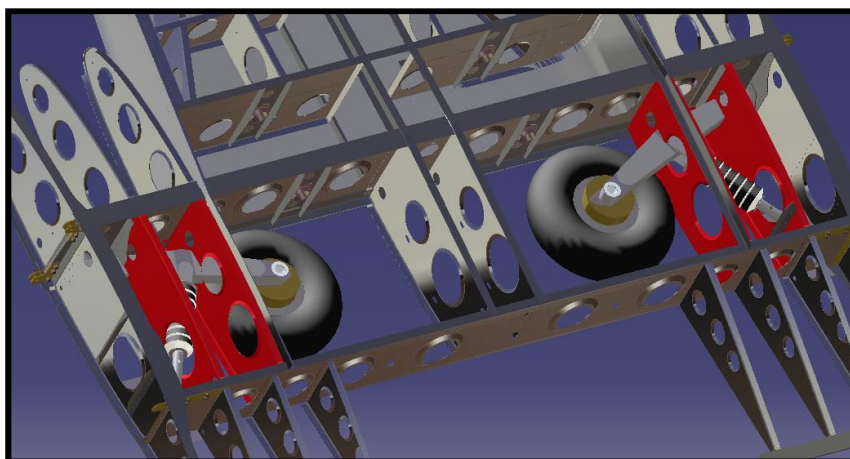


Obr. 5.14 Posun dozadu a zatiahnutie hlavného podvozku dozadu [7]

Pre väčšie koleso letúna Rapid 600 oproti Rapidu 150 by sa podvozok musel posunúť približne o 204 mm. Ak by sa pre zaťahovaciu variantu hlavného podvozku použilo menšie koleso, posun by mohol byť menší. Posunutý podvozok už nezasahuje do pomocného nosníka centroplánu, ale stále by vyžadoval posun prvého rebra centroplánu od krídla smerom k trupu. Nevýhodou posunutia celého hlavného podvozku dozadu je uchytenie prednej podpory mimo hlavný nosník centroplánu, kde je nutné vyriešiť bezpečnú zástavbu mimo hlavných nosných častí centroplánu v priestore medzi nosníkmi, ktoré ohraničujú rebrá a poťah. Rebrá, na ktoré by podvozok prichytil by vyžadovali zosilnenie. Posunutý podvozok stále zachováva polohu pevného hlavného podvozku vo vysunutej polohe.

### 5.4.3 Zatiahnutie hlavného podvozku k ose súmernosti letúna

Na obr. 5.15 je zobrazená konštrukcia centroplánu so zatiahnutým hlavným podvozkom. Červenou farbou sú zobrazené časti konštrukcie do ktorých by podvozok zasiahol. Úprava by sa týkala dvoch rebier na každej strane centroplánu, ktoré by vyžadovali nové tvarovanie. Nové rebrá by sa museli zároveň aj spevniť, aby konštrukcia oslabená o výrezy pre zatiahnutý podvozok bola schopná uniesť rovnako veľké zaťaženie ako pôvodné rebrá. Tento spôsob zaťahovania umožňuje použiť pôvodný pevný podvozok u ktorého by sa uspôsobila jeho zástavba pre potreby zaťahovania.

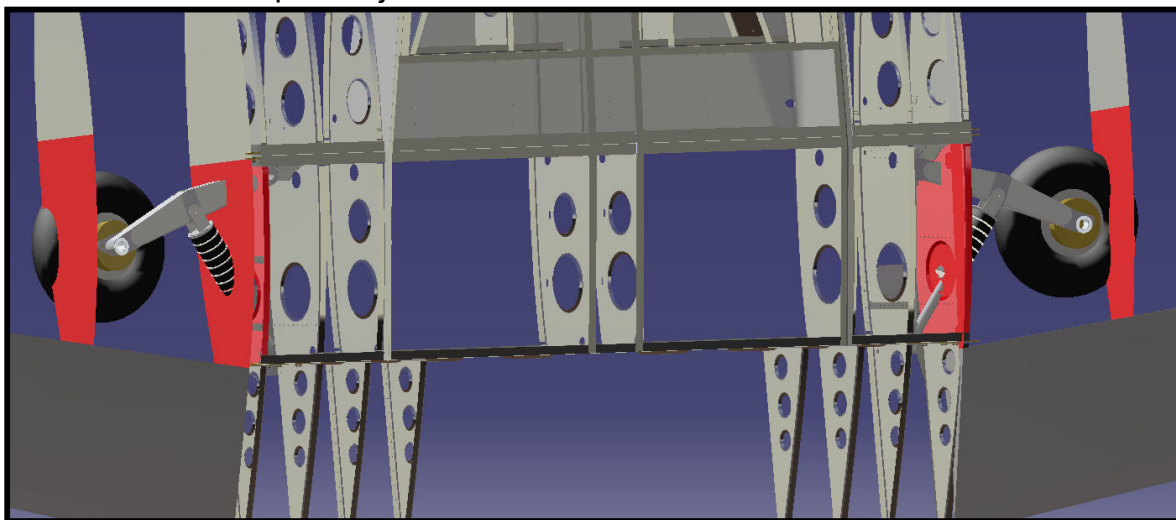


Obr. 5.15 Zatiahnutie hlavného podvozku do konštrukcie centroplánu



### 5.4.4 Zatiahnutie hlavného podvozku od osi súmernosti letúna

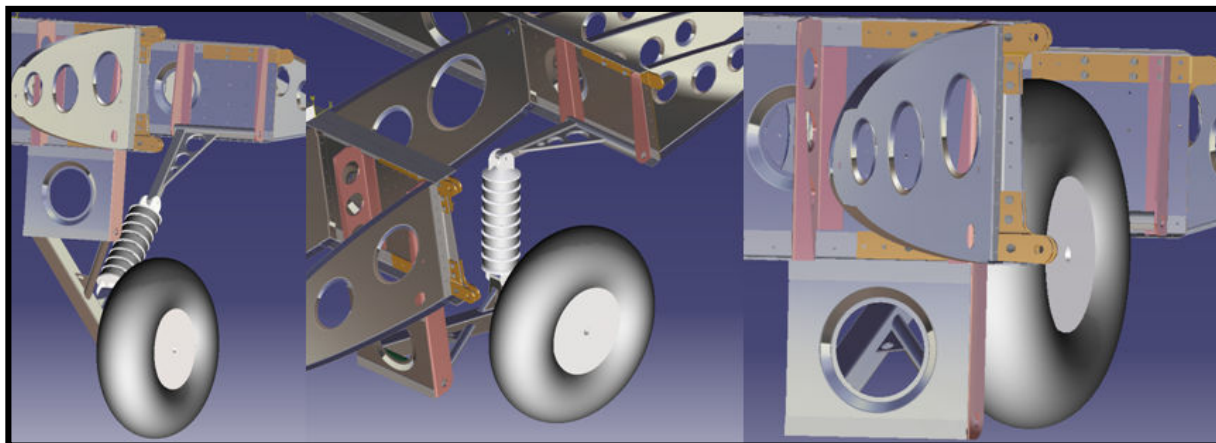
Rovnako ako v predchádzajúcom bode by ani tento spôsob zaťahovania nevyžadoval navrhnutie nového podvozku a mohol by sa použiť pôvodný pevný podvozok s upravenou zástavbou. Podvozok uchytený v centroplánu by sa zatiahol do krídla, obr. 5.16. Koncové rebro centroplánu a koreňové rebro krídla prenášajú veľké zaťaženie. Hlavným nedostatkom tejto varianty je, že by došlo k zasiahnutiu spojenia centroplánu a krídla. Okrem týchto častí by podvozok zasahoval aj do prvého rebra v krídle. Na obr. 5.16 sú časti centroplánu a krídla, ktoré by vyžadovali úpravu znázornené červenou farbou. Ďalšou nevýhodou je, že krídlo má vzopätie  $6^\circ$ . Podvozok by musel zaťahovať o  $96^\circ$ . Táto možnosť má viacero nevýhod a komplikácií ako predností vzhľadom na nutné úpravy konštrukcie centroplánu aj krídla.



Obr. 5.16 Zatiahnutie hlavného podvozku do konštrukcie krídla

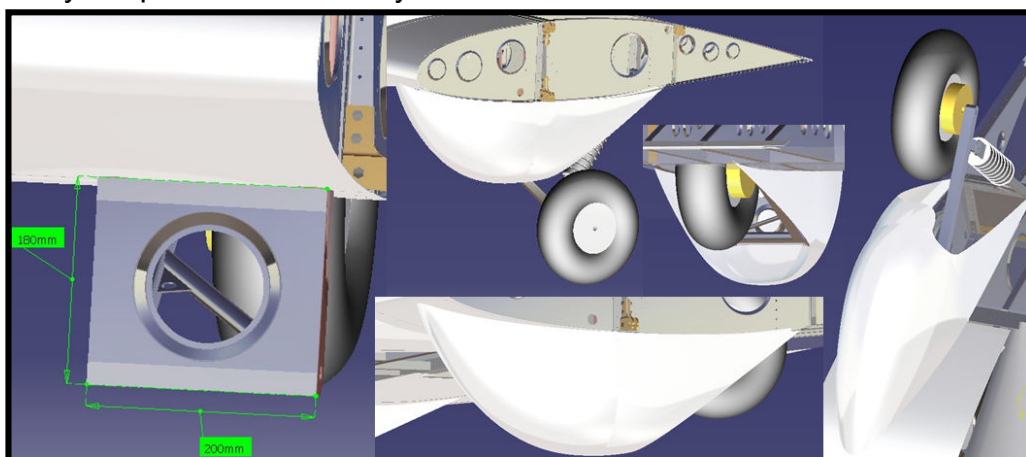
### 5.4.5 Poskladaný hlavný podvozok pomocou jednej zlomenej vzpery

Na obr. 5.17 je zobrazené postupné zatiahnutie hlavného podvozku medzi nosníky centroplánu pomocou jednej zlomenej vzpery obsahujúcej tlmič. V ľavej časti obr. 5.17 je podvozok vo vytiahnutej polohe, ktorá je totožná s polohou pevného podvozku. V pravej časti sa podvozok nachádza v zatiahnutej polohe. Medzi vytiahnutou a zatiahnutou polohou je podvozok zobrazený v približne strednej polohe pohybu.



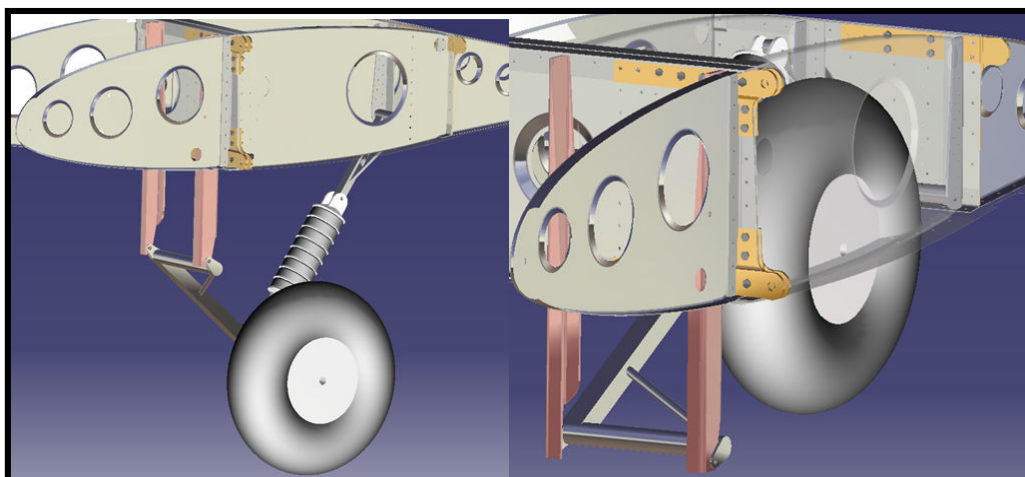
Obr. 5.17 Poskladaný podvozok pomocou jednej zlomenej vzpery

Spôsob zaťažovania a konštrukčná zložitosť a je rovnaká ako vo variante zatiahnutia podvozku smerom dozadu (viď. bod 5.4.2). Predná podvozková noha je uchytená pred hlavným nosníkom a je rozdelená na dve časti. Horná časť prednej vzpery je pevná a skladá sa so stojiny a dvoch pásnic, na ktoré je uchytená dolná otočná časť prednej vzpery. Pásnice sú uchytené na hlavný nosník a rebrá centroplánu. Rozmery oboch častí prednej vzpery a miera predsunutia zástavby sa navrhli tak, aby pevná časť presahovala čo najmenej pod centroplán pri zachovaní možnosti otočenia spodnej časti spolu s kolesom bez zasiahnutia pomocného nosníka a zástavby zadnej zlomenej vzpery. Rozmery pevnej časti prednej vzpery podvozku sú 180 mm x 200 mm, obr. 5.18 vľavo. Hodnota 200 mm je daná šírkou kolesa a tlmiča umiestnených vedľa seba. Veľkosť pevnej časti prednej vzpery by spôsobovala odpor aj v zatiahnutom stave. Na zníženie odporu sa navrhlo aerodynamický kompozitový kryt, obr. 5.18. Rozmer krytu od poťahu centroplánu by musel byť až 260 mm pre opísanie pevnej časti prednej vzpery a pravdepodobne by odpor neznížil. Pre presnejšie posúdenie vplyvu krytu na zvýšenie či zníženie odporu podvozku v zatiahnutom stave by sa použila CFD analýza.



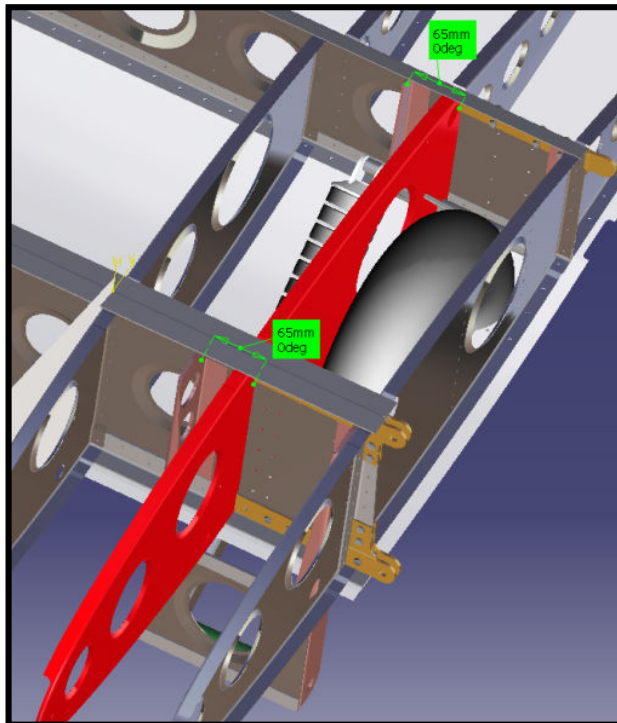
Obr. 5.18 Návrh krytu pre pevnú časť podvozku

Pre zníženie odporu sa navrhla aj druhá konštrukcia pevnej časti prednej vzpery, obr. 5.19. Odstránila sa stojina, ktorá spôsobovala hlavnú časť odporu. Pevná časť je riešená formou dvoch závesov z profilov U, ktoré sú pripojené na dve rebrá. Pri tomto riešení sa zvýšili nároky na pevnosť pevnej časti prednej vzpery.



Obr. 5.19 Poskladaný podvozok s jednou zlomenou vzperou, 2. konštrukcia

Navrhnuté konštrukčné varianty tohto spôsobu zaťahovania by vyžadovali jedinú konštrukčnú úpravu vnútornej konštrukcie centroplánu pevného podvozku. Prvé rebro od koncového rebra centroplánu by sa muselo posunúť približne o 65~70 mm. Tento posun je daný šírkou kola s brzdou a tlmiča umiestnenými vedľa seba v zatiahnutej polohe podvozku.

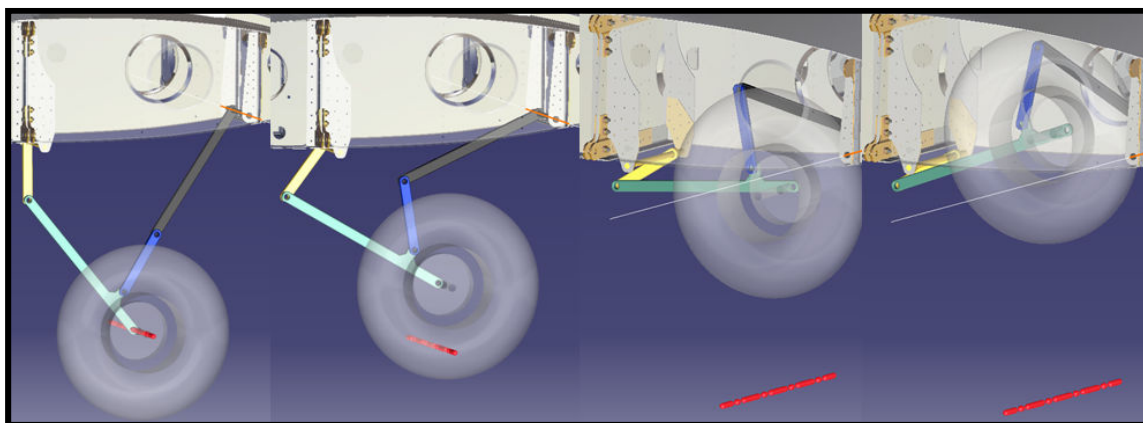


Obr. 5.20 Nutné úpravy konštrukcie pre poskladaný podvozku

Výhodou tohto spôsobu zaťahovania je nízky počet úprav konštrukcie a že podvozok nezasahuje do žiadnej nosnej časti centroplánu. Nevýhodou je určitý odpor v zatiahnutej polohe a nutnosť návrhu novej konštrukcie podvozku.

### 5.4.6 Poskladaný hlavný podvozok pomocou dvoch zlomených vzpier

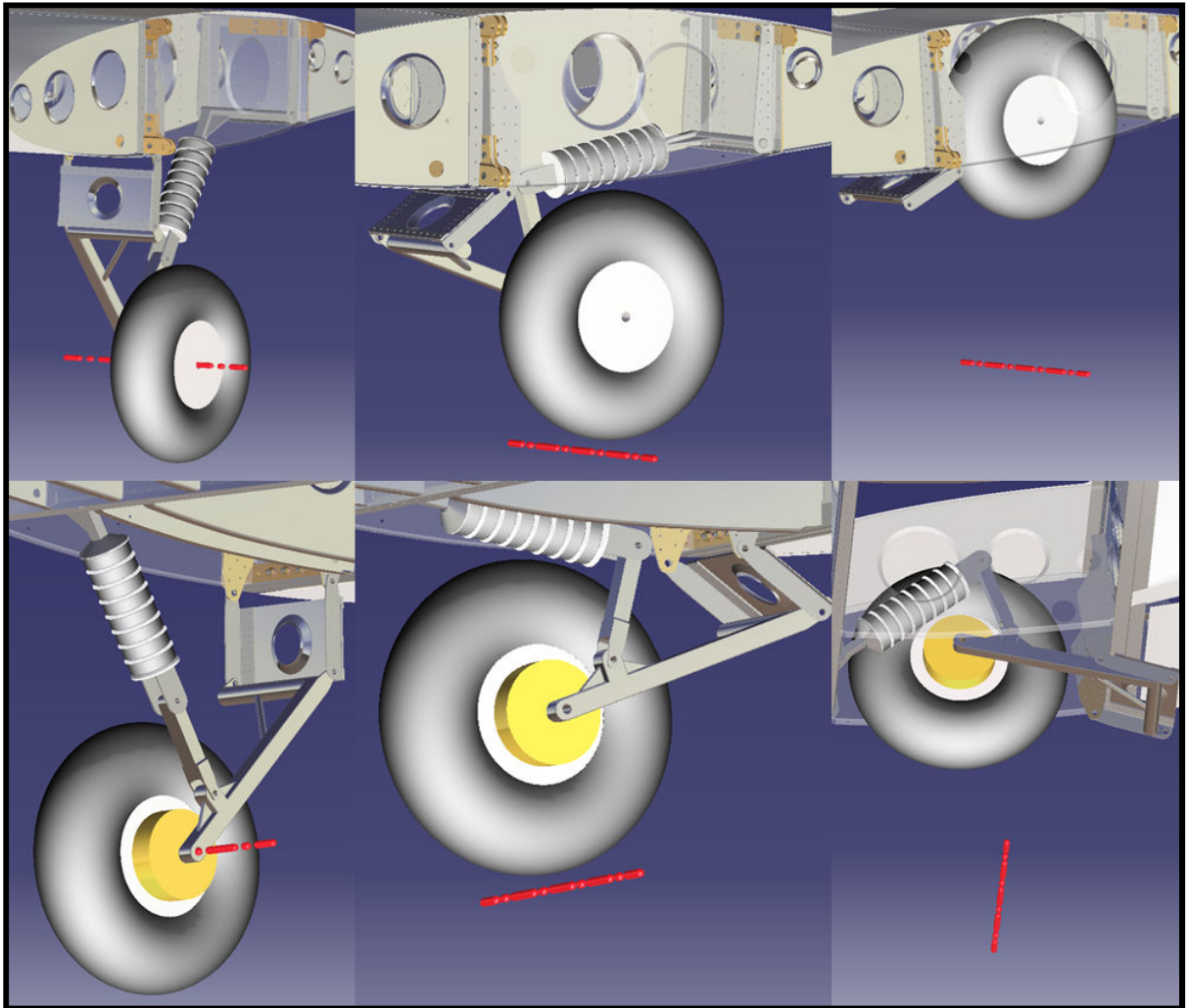
Keďže táto možnosť má zložitejšiu kinematiku zaťahovania je na obr. 5.21 zobrazené postupné zatiahnutie. Časti podvozku sú nahradené jednoduchými pákami, ktorých dĺžka zodpovedá rozmerom konštrukcie podvozku. Zobrazená červená osa zodpovedá polohe hlavného pevného kola. Čierna páka obsahuje tlmič. Oranžová osa v závese čiernej páky znázorňuje osu otáčania čiernej riadiacej páky celého mechanizmu.



Obr. 5.21 Kinematika zaťahovania poskladaného podvozku



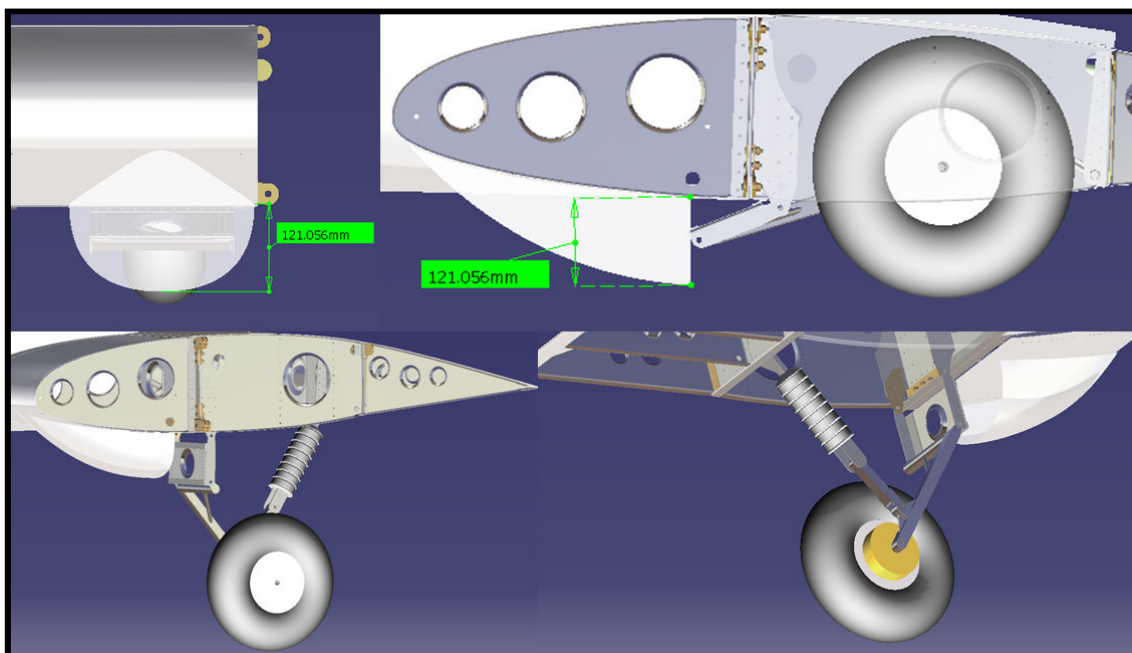
Na obr. 5.22 je zobrazený podvozok s konštrukčným spracovaním z oboch jeho strán. Jednotlivé páky sa nahradili reálnymi časťami.



Obr. 5.22 Poskladaný podvozok pomocou dvoch zlomených vzpier

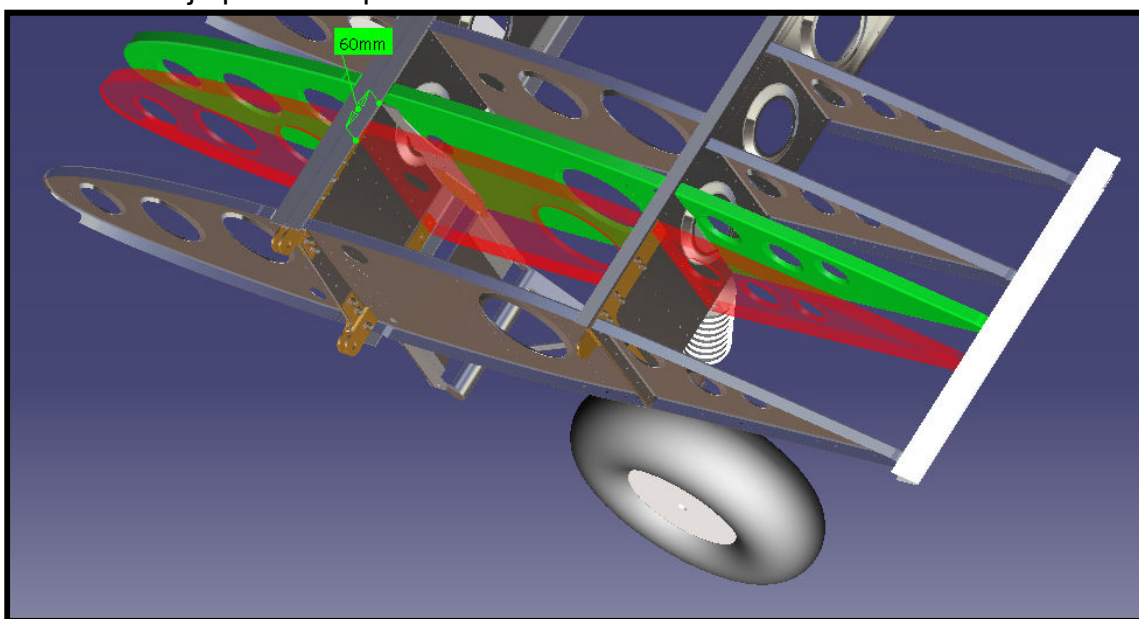
Poskladaný podvozok pomocou dvoch zlomených vzpier vychádza z predchádzajúceho spôsobu pomocou jednej zlomenej vzpery a odbúrava jeho nevýhodu v podobe odporu pevnej hornej vzpery tým, že sa aj tá sklopí. Vo vytiahnutej polohe podvozku sa táto časť uzamkne o predný nosník a tým sa riešenie prednej vzpery stane totožným s predchádzajúcou možnosťou. Výhodou takto riešenej otočnej hornej časti prednej vzpery je, že je ju možné upnúť do upraveného pôvodného závesu pevného podvozku. Úprava sa týkala jeho predĺženia smerom k zemi o 30 mm, aby sa otočná časť prednej vzpery mohla otočiť a zmestiť sa pod poťah nábežnej hrany centroplánu. Pomer pák zadnej zlomenej vzpery je opačný ako v predchádzajúcom prípade. Záves na pomocnom nosníku centroplánu ostal totožný. Problémom tejto varianty je spoľahlivé a bezpečné uzamknutie kratšej časti zadnej vzpery vo vysunutom stave. (obr. 5.21, modrá páka). Pre zníženie odporu by sa mohol pred podvozok dať kompozitový aerodynamický kryt, obr. 5.23. Tento podvozok umožňuje návrh výrazne menšieho krytu ako v predchádzajúcej variante, ale aj tu pre presnejšie posúdenie jeho vplyvu, či jeho nutnosti použitia, by sa vyžadovala CFD analýza.





Obr. 5.23 Návrh kryty pre hornú otočnú časť podvozku

Nutné úpravy konštrukcie pevného podvozku pre tento spôsob zaťahovania sú rovnaké ako v predchádzajúcej variante. Úprava by sa týkala len posunu jedného rebra znázorneného priehľadnou červenou farbou približne o 60 mm, obr. 5.24. Hodnota posunutia je daná šírkou kolesa a tlmiča uložených vedľa seba. Zelené rebro zobrazuje posunutú polohu červeného rebra.



Obr. 5.24 Nutné úpravy konštrukcie podvozku s dvoma zlomenými vzperami

Podvozok nevyžaduje zásah do nosných častí centroplánu, umožňuje použitie závesov prednej vzpery pevného podvozku, ktoré by sa len predĺžili o 30 mm. Tým že sa celý podvozok poskladá medzi hlavný a pomocný nosník centroplánu, v dolnom poľahu stačí výrez len tejto jednej časti. Malé množstvo úprav konštrukcie draku na druhej strane prinášajú nevýhody v zložitejšej konštrukcii podvozku, problémy s bezpečným a spoľahlivým uzamknutím hornej časti prednej vzpery a zadnej vzpery.

#### 5.4.7 Voľba spôsobu zaťažovania hlavného podvozku

V tab. 5.3 je súhrn a porovnanie predchádzajúcich návrhov variant hlavného podvozku.

| Súhrn rozboru možných spôsobov zaťažovania hlavného podvozku   |                                                                            |                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Spôsob zatiahnutia                                             | Výhody                                                                     | Nevýhody                                                                                                                                                                                            | Nutné úpravy                                                                                                    |
| Smerom dozadu s uchytением prednej podpory na hlavnom nosníku  | Možnosť použiť pôvodný záves prednej podpory                               | Zásah do nosných častí centroplánu: pomocný nosník                                                                                                                                                  | Výrez dolnej pásnice a stojiny pomocného nosníka, zosilnenie vyrezanej časti. Posun rebra. Nový návrh podvozku. |
| Smerom dozadu, posunutím miesta zástavby prednej vzpery dozadu | Nízky počet úprav centroplánu                                              | Upnutie prednej vzpery mimo hlavný nosník na rebrá centroplánu.                                                                                                                                     | Posun rebra. Nový návrh alebo úprava zosilnením podvozku KP-2U. Zosilnenie rebier pre zástavbu podvozku.        |
| Smerom k ose súmernosti letúna                                 | Možnosť použiť pevný podvozok s upravenou zástavbou.                       | Zásah do nosných častí centroplánu: dve rebrá. Zložitejší kinematický mechanizmus spájajúci hlavný a predný podvozok.                                                                               | Výrez a zosilnenie vyrezanej časti rebier. Návrh úpravy zástavby podvozku.                                      |
| Smerom od osi súmernosti letúna                                | Možnosť použiť pevný podvozok s upravenou zástavbou.                       | Zásah do nosných častí centroplánu: koncové rebro centroplánu, dve rebrá krídla. Zložitejší kinematický mechanizmus spájajúci hlavný a predný podvozok. Nutné väčšie zatiahnutie o vzopätie krídla. | Výrez a zosilnenie vyrezanej časti rebier centroplánu a krídla. Návrh úpravy zástavby podvozku.                 |
| Poskladaný hlavný podvozok pomocou jednej zlomenej vzpery      | Nízky počet úprav centroplánu.                                             | Návrh nového podvozku a jeho zástavby. Odpor zatiahnutého podvozku.                                                                                                                                 | Posun jedného rebra centroplánu. Nový návrh podvozku.                                                           |
| Poskladaný hlavný podvozok pomocou dvoch zlomených vzpier      | Nízky počet úprav centroplánu. Použitie upravených závesov prednej vzpery. | Návrh nového podvozku a jeho zástavby. Spoľahlivé uzamknutie podvozku vo vysunutom stave.                                                                                                           | Posun jedného rebra centroplánu. Nový návrh podvozku.                                                           |

Tab. 5.3 Súhrn rozboru hlavného podvozku

### **Na základe rozboru z predchádzajúcich kapitol sa zvolil spôsob zaťahovania**

Každá navrhnutá možnosť zaťahovania bola uvažovaná s rovnakou polohou kolesa vo vytiahnutej polohe ako má pevný podvozok, s použitím rovnakého tlmiča aj kolesa s brzdou. So spracovaných variant sú najvhodnejšie dve.

1. Smerom dozadu s posunutím miesta zástavby prednej vzpery dozadu
2. Poskladany hlavný podvozok pomocou dvoch zlomených vzpier

Obe možnosti vyžadujú malý počet úprav centroplánu. Prvá možnosť je odskúšaná a spoľahlivo funguje na predchádzajúcich typoch vývojovej rady letúnov Rapid.

I napriek tomu by sa zvolila možnosť:

Poskladany hlavný podvozok pomocou dvoch zlomených vzpier.

### **5.4.8 Odôvodnenie voľby spôsobu zaťahovania hlavného podvozku**

#### **Úroveň zatiahnutia**

Letún RAPID 600 je určený na rekreačné a turistické lietanie, nevyžaduje úplné zatiahnutie podvozku a tým zvýšenie maximálnej rýchlosti a aerodynamickej čistoty. Čiastočné zatiahnutie je dané veľkosťou kolesa a je zvolené z ohľadom na bezpečnejšie núdzové pristávanie so zatiahnutým podvozkom.

#### **Spôsob zatiahnutia**

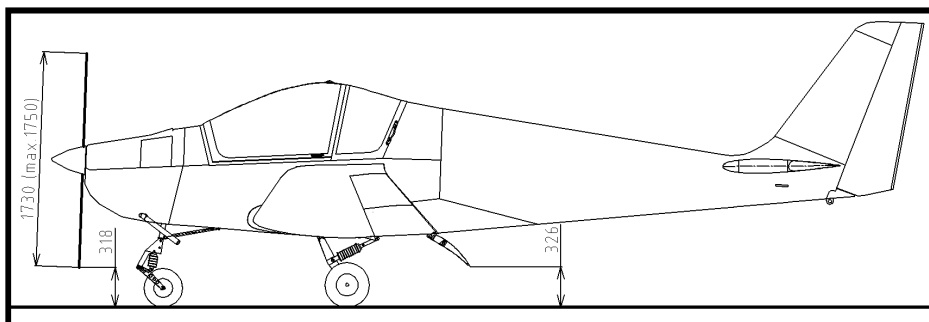
Hlavným dôvodom tejto voľby je nízky počet úprav konštrukcie centroplánu a možnosť navrhnuť netradičný spôsob zaťahovania v tejto kategórii letúna.

#### **Úpravy konštrukcie**

Návrh by vyžadoval minimálne úpravy konštrukcie letúna. Posun jedného rebra, výrez len časti dutiny medzi hlavným a pomocným nosníkom a doplnenie zosilňujúceho rámu okolo výrezu poťahu. Podvozok by sa musel navrhnuť nový celý a vyriešiť spoľahlivé uzamknutie oboch zlomených vzpier podvozku.

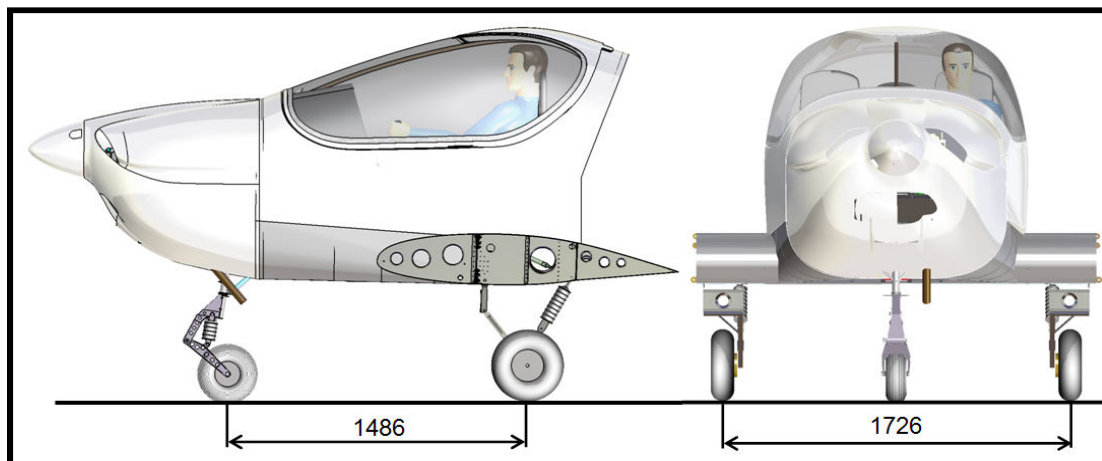
## 6. GEOMETRIA PODVOZKU

Na obr. 6.1 sú zakótované vzdialenosti komponentov letúna KP-2U Sova (Rapid 150UL) najviac siahajúcich pod jeho trup. Ich umiestnenie a najnižšia poloha je totožná ako u letúna Rapid 600 [7]. Navrhnutý zaťahovací podvozok zachováva parametre pevného podvozku vo forme rovnakej výšky. Praxou overené minimálne vzdialenosti najnižšie siahajúcich častí: vrtule a vztlakovej klapky v polohe pre pristávanie ostávajú rovnaké ako pre pevný podvozok.

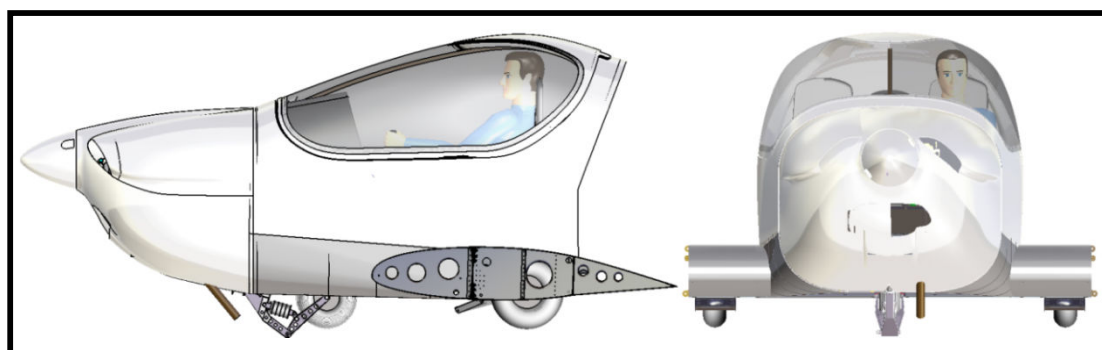


Obr. 6.1 Výška podvozku [7]

Oproti pevnému podvozku (Obr. 3.4) sa mierne zmenila geometria podvozku. Vzhľadom na zvolenú variantu zaťahovania predného podvozku a jeho zástavbe pomocou rozšírených motorových lôžok sa zväčšila vzdialenosť bodu dotyku predného a hlavného podvozku. Týmto sa predné koleso dostalo pred prepážku oddeľujúcu motorovú a kabínovú časť a znížilo sa jeho zaťaženie. Poloha hlavného podvozku je rovnaká ako u pevnej varianty, len sa zmenšila vzdialenosť ľavého a pravého podvozku z dôvodu zatiahnutia kolesa do centroplánovej časti letúna.



Obr. 6.2 Geometria podvozku



Obr. 6.3 Zatiahnutý podvozok

## 7. ZAŤAŽENIE PODVOZKU

Podvozok treba navrhnuť tak, aby spoľahlivo zvládol preniesť najväčšie zaťaženie, ktoré môže vzniknúť počas prevádzky. Zaťaženie podvozku vyplýva z jeho použitia ako prostriedku na pohyb letúna po letisku, pre vzlet a pristávanie. Najväčšie zaťaženie podvozku nastáva v priebehu pristávania v okamžiku dotyku kolies s pristávacou dráhou. Po samotnom dosadnutí nastáva dojazd, pri ktorom vzniká zaťaženie od brzdenia. Podvozok je pod určitým zaťažením aj keď letún nie je v pohybe, pri státi. [3]

### Hlavné faktory ovplyvňujúce veľkosť zaťaženia podvozku:

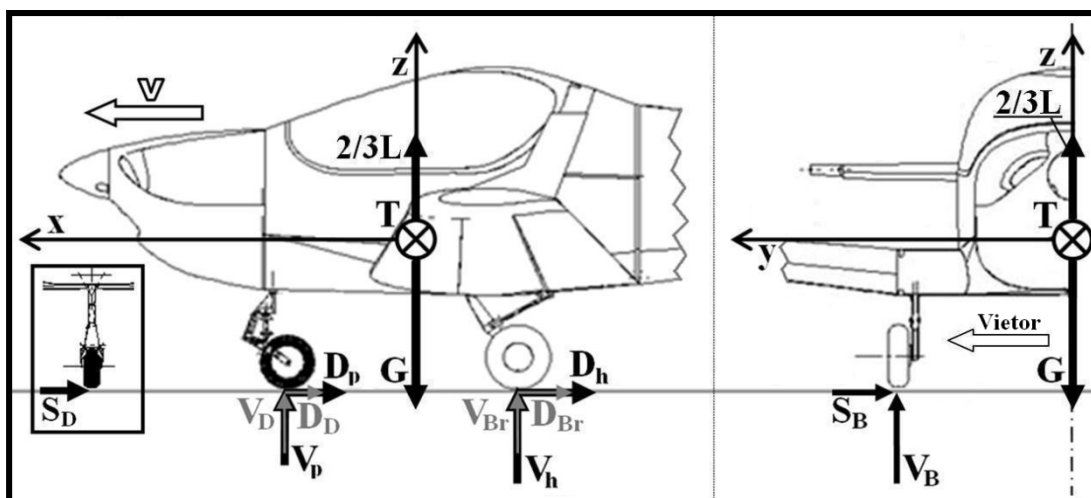
tiaž letúna, pristávacia rýchlosť, veľkosť tlmenia sústavy tlmič - pneumatika, uhol priblíženia letúna na pristávanie [3]

### Sily zaťažujúce podvozok

Na predný a hlavný podvozok pôsobia sily v troch hlavných smeroch. [2], [3], [9], [10]

| Orientácia sily         | Popis sily<br>Sila pôsobiaca ako reakcia na | Označenie sily |
|-------------------------|---------------------------------------------|----------------|
| Vertikálna              | tiaž letúna predného podvozku               | $V_p$          |
|                         | tiaž letúna hlavného podvozku               | $V_h$          |
|                         | bočný vietor na hlavnom podvozku            | $V_B$          |
|                         | brzdenie letúna na hlavnom podvozku         | $V_{Br}$       |
|                         | dodatočné zaťaženie predného podvozku       | $V_D$          |
| Horizontálna (Odporová) | pohyb letúna dopredu predného podvozku      | $D_p$          |
|                         | pohyb letúna dopredu hlavného podvozku      | $D_h$          |
|                         | brzdenie letúna na hlavnom podvozku         | $D_{Br}$       |
|                         | dodatočné zaťaženie predného podvozku       | $D_D$          |
|                         |                                             |                |
| Bočná                   | bočný vietor na hlavnom podvozku            | $S_B$          |
|                         | dodatočné zaťaženie predného podvozku       | $S_D$          |

Tab. 7.1 Sily zaťažujúce podvozok



Obr. 7.1 Sily pôsobiace na podvozok

## ZAŤAŽENIE PODVOZKU

Výpočet zaťaženia musí spĺňať požiadavky a predpoklady predpisov: UL-2, LSA a CS-VLA. Zaťaženie je počítané podľa predpisu CS-VLA [10] a podľa správy [9], kde je výpočet zaťaženia podľa UL-2 a LSA. Na základe správy [8] a [9] sa vybrali najkritickejšie polohy ťažiska pre zaťaženie podvozku, tab. 7.2.

| Centráž                              | Konfigurácia                                 |            | SAT    | $x_T$      |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|------------|--------|------------|
| Maximálna hmotnosť posádky + dolet   | maximálna hmotnosť posádky = 2 piloti 240 kg | 601,132 kg | 21,5 % | 273,824 mm |
|                                      | maximálne množstvo paliva = 60 kg            |            |        |            |
|                                      | bez nákladu                                  |            |        |            |
| Maximálna vzletová hmotnosť + náklad | maximálna hmotnosť posádky = 2 piloti 240 kg | 599,132 kg | 24,6 % | 313,306 mm |
|                                      | množstvo paliva = 28 kg                      |            |        |            |
|                                      | maximálna hmotnosť nákladu = 30 kg           |            |        |            |

Tab. 7.2 Konfigurácia centrží pre výpočet zaťaženia

Rozmery na obr. 7.2 sú prevzaté zo správ [8] a [9].

$$x = 0,66125\text{m}$$

$$d = 1,4866\text{m}$$

$$\text{SAT} = 1,2736\text{m}$$

$$\text{NHSAT} = 0,0747\text{m}$$

$$x_{T_{21,5\%}} = 0,215 \cdot \text{SAT}$$

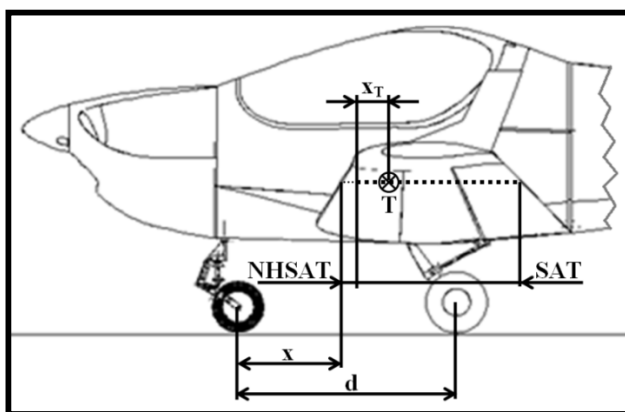
$$x_{T_{21,5\%}} = 0,215 \cdot 1,2736$$

$$x_{T_{21,5\%}} = \underline{0,27382\text{m}}$$

$$x_{T_{24,6\%}} = 0,246 \cdot \text{SAT}$$

$$x_{T_{24,6\%}} = 0,246 \cdot 1,2736$$

$$x_{T_{24,6\%}} = \underline{0,3133\text{m}}$$



Obr. 7.2 Poloha ťažiska letúna

Z obr. 7.3 vyplývajú rozmery potrebné pre výpočet zaťaženia. Poloha predného a zadného podvozku voči ťažisku letúna pre zvolené centrže 21,5% SAT a 24,6% SAT.

$$a_{21,5\%} = x + \text{NHSAT} + x_{T_{21,5\%}}$$

$$a_{21,5\%} = 0,66125 + 0,0747 + 0,27382$$

$$a_{21,5\%} = \underline{1,00977\text{m}}$$

$$b_{21,5\%} = d - a_{21,5\%}$$

$$b_{21,5\%} = 1,4866 - 1,00977$$

$$b_{21,5\%} = \underline{0,47683\text{m}}$$

$$a_{24,6\%} = x + \text{NHSAT} + x_{T_{24,6\%}}$$

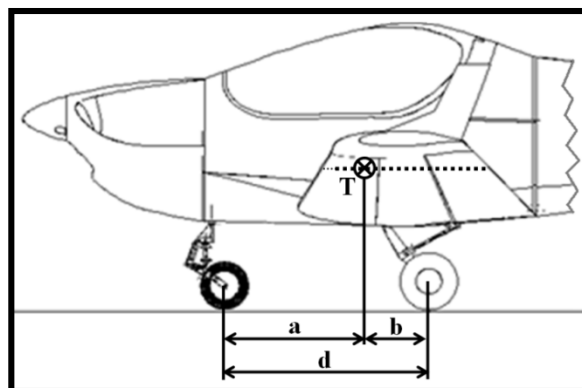
$$a_{24,6\%} = 0,66125 + 0,0747 + 0,3133$$

$$a_{24,6\%} = \underline{1,04926\text{m}}$$

$$b_{24,6\%} = d - a_{24,6\%}$$

$$b_{24,6\%} = 1,4866 - 1,04925$$

$$b_{24,6\%} = \underline{0,43734\text{m}}$$



Obr. 7.3 Geometria podvozku voči ťažisku letúna



## 7.1 Podmienky zaťaženia podvozku na zemi

Pre výpočet zaťaženia sa uvažuje maximálna návrhová hmotnosť letúna,  $m = 600 \text{ kg}$ . Násobok od zvislých zotrvačných síl v ťažisku letúna nesmie byť väčší ako násobok vzniknutý počas pristávania klesavou rýchlosťou  $v_{kl}$ , ktorá sa má nachádzať v intervale  $< 2,13; 3,05 >$ . [CS-VLA 473 a.), b.)]

$$v_{kl} = 0,51 \cdot \left( \frac{m \cdot g}{S} \right)^{0,25} = 0,51 \cdot \left( \frac{600 \cdot 9,81}{11,58} \right)^{0,25} = \underline{2,42 \text{ ms}^{-1}}$$

$$\boxed{2,13 \text{ ms}^{-1} > v_{kl} = 2,42 \text{ ms}^{-1} < 3,05 \text{ ms}^{-1}}$$

### Vztlak letúna počas pristávania

V okamihu dotknutia podvozku so zemou pôsobí v ťažisku letúna vztlak, ktorý sa rovná  $2/3$  hmotnosti letúna. [CS-VLA 473 c.)]

$$L = \frac{2}{3} \cdot m \cdot g = 0,667 \cdot 600 \cdot 9,81 = \underline{3925,96 \text{ N}}$$

### Stlačenie tlmiacej sústavy: pneumatika + tlmič

- Stlačenie pneumatiky:  $h_{PN} = 0,07 \text{ m}$  [6]
- Stlačenie tlmiča:  $h_{TL} = 0,092 \text{ m}$  [6]
- Celková dráha tlmenia:  $h = h_{PN} + h_{TL} = 0,07 + 0,092 = \underline{0,162 \text{ m}}$

### Súčiniteľ účinnosti tlmenia

- Účinnosť gumových tlmičov:  $\eta = 0,5$
- $h_{ef} = \eta \cdot h_{PN} + \eta \cdot h_{TL}$
- $h_{ef} = 0,5 \cdot h_{PN} + 0,5 \cdot h_{TL} = 0,5 \cdot 0,07 + 0,5 \cdot 0,092 = \underline{0,081 \text{ m}}$

### Násobok od zotrvačných síl

$$n_T = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{\frac{m \cdot g}{S}} + \frac{h}{3}}{h_{ef}} = \frac{0,0132 \cdot \sqrt{\frac{600 \cdot 9,81}{11,58}} + \frac{0,162}{3}}{0,081} = \underline{4,298}$$

$$\boxed{n_T = 4,298 > 2,67} \quad [\text{CS} - \text{VLA 473 e.)}]$$

### Maximálny prevádzkový násobok, reakcie od zeme

$$n_{pr} = n_T + \frac{2}{3} = 4,298 + 0,667 = \underline{4,96}$$

$$\boxed{n_{pr} = 4,96 > 2} \quad [\text{CS} - \text{VLA 473 e.)}]$$

### Energia tlmená pri pristávaní

$$E_{Pr} = E_k + E_p = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{kl}^2 + \frac{1}{3} \cdot m \cdot g \cdot h$$

$$E_{Pr} = \frac{1}{2} \cdot 600 \cdot 2,42^2 + \frac{1}{3} \cdot 600 \cdot 9,81 \cdot 0,162 = \underline{2074,764 \text{ J}}$$

### Síla v podvozkových nohách

$$F_P = \frac{E_{Pr}}{h_{ef}} = \frac{2074,764}{0,081} = \underline{25614,37 \text{ N}}$$

### Násobok v ťažisku letúna

$$n_T = \frac{F_P}{m \cdot g} = \frac{25614,37}{600 \cdot 9,81} = \underline{4,35}$$

$$\boxed{n_T = 4,35 > 2,67} \quad [\text{CS} - \text{VLA 473 e.)}]$$

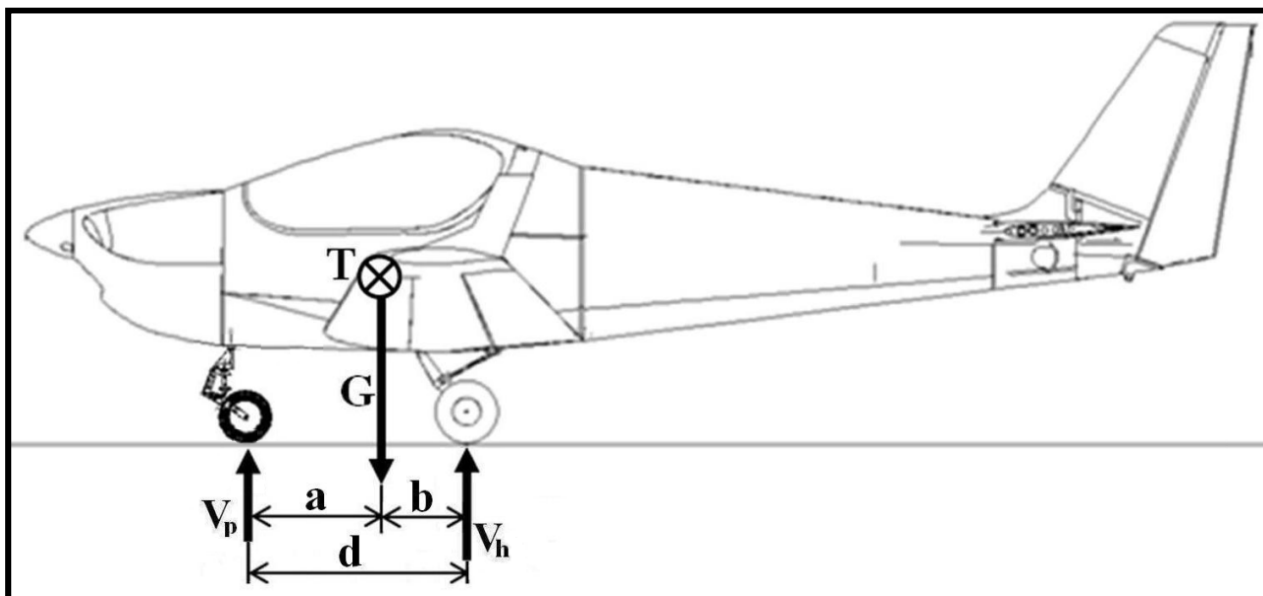
**Prevádzkový násobok, reakcie od zeme**

$$n_{pr} = n_T + \frac{2}{3} = \frac{25614,37}{600 \cdot 9,81} + 0,667 = 5,017 \sim \underline{5}$$

$$\boxed{n_{pr} = 5 > 2} \quad [\text{CS} - \text{VLA 473 e.}]$$

## 7.2 Zaťaženie podvozku na zemi

Pri státi na zemi sa celková hmotnosť letúna rozdelí na 3 podvozkové nohy, obr. 7.4 Súčet zaťažení od všetkých nôh bude rovnaký ako hmotnosť celého letúna. [2], [3]



Obr. 7.4 Zaťaženie podvozku pri státi na zemi

$$\begin{aligned} \text{vid'. str 36.:} \quad a_{21,5\%} &= 1,00977\text{m} & a_{24,6\%} &= 1,04926\text{m} \\ d &= 1,4866\text{m} & b_{21,5\%} &= 0,47683\text{m} & b_{24,6\%} &= 0,43734\text{m} \end{aligned}$$

$$G = m \cdot g = 600 \cdot 9,81 = \underline{5886\text{N}}$$

$$\text{Silová rovnováha: } G = V_p + V_h$$

### Zaťaženie predného podvozku

$$V_{p21,5\%} = \frac{b_{21,5\%}}{d} \cdot G = \frac{0,47683}{1,4866} \cdot 5886 = \underline{1887,286\text{N}}$$

$$V_{p24,6\%} = \frac{b_{24,6\%}}{d} \cdot G = \frac{0,43734}{1,4866} \cdot 5886 = \underline{1731,02\text{N}}$$

### Zaťaženie hlavného podvozku pre obe podvozkové nohy

$$V_{h21,5\%} = \frac{a_{21,5\%}}{d} \cdot G = \frac{0,100977}{1,4866} \cdot 5886 = \underline{3999,8\text{N}}$$

$$V_{h24,6\%} = \frac{a_{24,6\%}}{d} \cdot G = \frac{1,04926}{1,4866} \cdot 5886 = \underline{4152,97\text{N}}$$

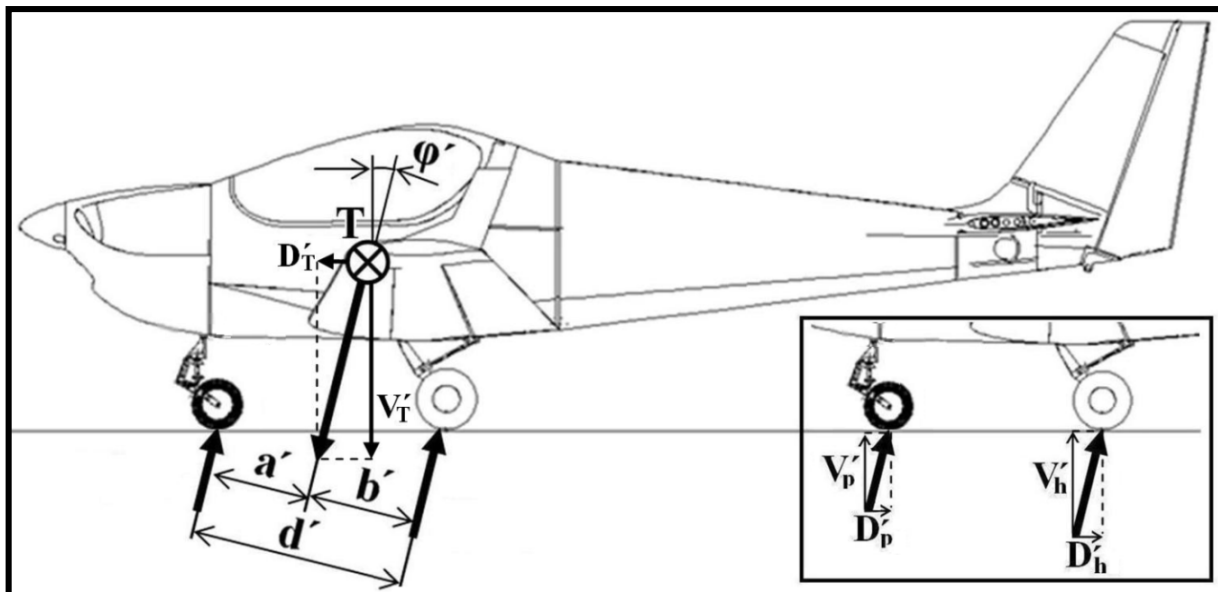
### Zaťaženie hlavného podvozku pre jednu podvozkovú nohu

$$V_{h1P21,5\%} = \frac{V_{h21,5\%}}{2} = \frac{3999,8}{2} = \underline{1998,35\text{N}}$$

$$V_{h1P24,6\%} = \frac{V_{h24,6\%}}{2} = \frac{4152,97}{2} = \underline{2076,48\text{N}}$$

### 7.3 Zaťaženie pri vodorovnom pristávaní

Letún pristáva so súčasným dosadnutím na predný aj zadný podvozku, obr. 7.5. Pri tomto pristávaní sa uvažujú sklonené reakcie. [CS-VLA 479 dodatok C]



Obr. 7.5 Zaťaženie podvozku pri pristávaní so sklonenými reakciami

$$\begin{aligned} \text{vid'. str. 36.:} \quad a_{21,5\%} &= a'_{21,5\%} = 1,00977\text{m} & a_{24,6\%} &= a'_{24,6\%} = 1,04926\text{m} \\ d &= 1,4866\text{m} & b_{21,5\%} &= b'_{21,5\%} = 0,47683\text{m} & b_{24,6\%} &= b'_{24,6\%} = 0,43734\text{m} \end{aligned}$$

$$m = 600 \text{ kg} < 1361 \text{ kg} \Rightarrow K = 0,25 \text{ [CS-VLA 479 dodatok C]}$$

#### Vertikálna zložka v ťažisku

$$V'_T = n_{pr} \cdot G = 4,96 \cdot 5886 = \underline{29212\text{N}}$$

#### Horizontálna zložka v ťažisku

$$D'_T = K \cdot n_{pr} \cdot G = 0,25 \cdot 4,96 \cdot 5886 = \underline{7303\text{N}}$$

#### Zaťaženie predného podvozku

Vertikálna zložka zaťaženia podvozku

$$V'_{p21,5\%} = (n_{pr} - 0,667) \cdot G \cdot \frac{b'_{21,5\%}}{d} = (4,96 - 0,667) \cdot 5886 \cdot \frac{0,47683}{1,4866} = \underline{8111,59\text{N}}$$

$$V'_{p24,6\%} = (n_{pr} - 0,667) \cdot G \cdot \frac{b'_{24,6\%}}{d} = (4,96 - 0,667) \cdot 5886 \cdot \frac{0,43734}{1,4866} = \underline{7439,9\text{N}}$$

Odporová zložka zaťaženia podvozku

$$D'_{p21,5\%} = K \cdot n_{pr} \cdot G \cdot \frac{b'_{21,5\%}}{d} = 0,25 \cdot 4,96 \cdot 5886 \cdot \frac{0,47683}{1,4866} = \underline{2342,43\text{N}}$$

$$D'_{p24,6\%} = K \cdot n_{pr} \cdot G \cdot \frac{b'_{24,6\%}}{d} = 0,25 \cdot 4,96 \cdot 5886 \cdot \frac{0,43734}{1,4866} = \underline{2148,47\text{N}}$$

### Zaťaženie hlavného podvozku pre obe podvozkové nohy

Vertikálna zložka zaťaženia podvozku

$$V'_{h_{21,5\%}} = (n_{pr} - 0,667) \cdot G \cdot \frac{a'_{21,5\%}}{d} = (4,96 - 0,667) \cdot 5886 \cdot \frac{1,00977}{1,4866} = \underline{17177,82N}$$

$$V'_{h_{24,6\%}} = (n_{pr} - 0,667) \cdot G \cdot \frac{a'_{24,6\%}}{d} = (4,96 - 0,667) \cdot 5886 \cdot \frac{1,04926}{1,4866} = \underline{17849,46N}$$

Odporová zložka zaťaženia podvozku

$$D'_{h_{21,5\%}} = K \cdot n_{pr} \cdot G \cdot \frac{a'_{21,5\%}}{d} = 0,25 \cdot 4,96 \cdot 5886 \cdot \frac{1,00977}{1,4866} = \underline{4960,57N}$$

$$D'_{h_{24,6\%}} = K \cdot n_{pr} \cdot G \cdot \frac{a'_{24,6\%}}{d} = 0,25 \cdot 4,96 \cdot 5886 \cdot \frac{1,04925}{1,4866} = \underline{5154,52N}$$

### Zaťaženie hlavného podvozku pre jednu podvozkovú nohu

Vertikálna zložka zaťaženia podvozku

$$V'_{h1P_{21,5\%}} = \frac{V'_{h_{21,5\%}}}{2} = \frac{17177,82}{2} = \underline{8588,91N}$$

$$V'_{h1P_{24,6\%}} = \frac{V'_{h_{24,6\%}}}{2} = \frac{17849,46}{2} = \underline{8924,73N}$$

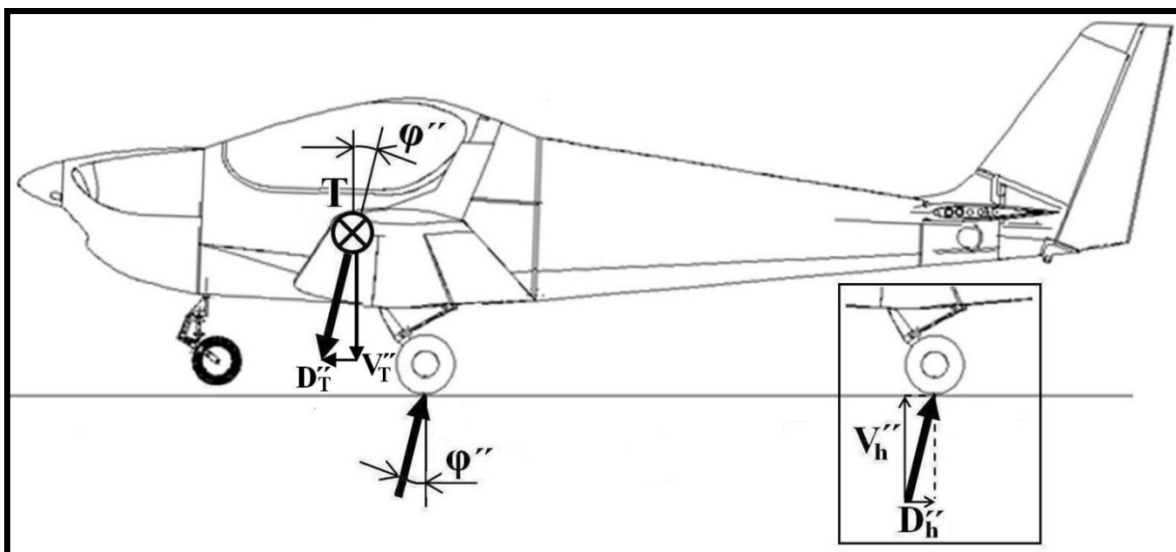
Odporová zložka zaťaženia podvozku

$$D'_{h1P_{21,5\%}} = \frac{D'_{h_{21,5\%}}}{2} = \frac{4960,57}{2} = \underline{2480,28N}$$

$$D'_{h1P_{24,6\%}} = \frac{D'_{h_{24,6\%}}}{2} = \frac{5154,52}{2} = \underline{2577,26N}$$

## 7.4 Zaťaženie pri pristávaní s predným kolesom tesne nad zemou

Letún pristáva na hlavný podvozok a v okamihu dotknutia so zemou sa predné koleso nachádza tesne nad pristávacou dráhou, obr. 7.6. V tomto prípade sa uvažuje nulové zaťaženie predného podvozku. [CS-VLA 479 dodatok C]



Obr. 7.6 Zaťaženie podvozku pri pristávaní s predným kolesom tesne nad zemou

### Vertikálna zložka v ťažisku

$$V_T^{//} = n_{Pr} \cdot G = 4,96 \cdot 5886 = \underline{29212,02N}$$

### Horizontálna zložka v ťažisku

$$D_T^{//} = K \cdot n_{Pr} \cdot G = 0,25 \cdot 4,96 \cdot 5886 = \underline{7303N}$$

### Zaťaženie predného podvozku

$$V_{p21,5\%}^{//} = V_{p24,6\%}^{//} = D_{h21,5\%}^{//} = D_{h24,6\%}^{//} = 0$$

### Zaťaženie hlavného podvozku pre obe podvozkové nohy

Vertikálna zložka zaťaženia podvozku

$$V_{h21,5\%}^{//} = V_{h24,6\%}^{//} = (n_{Pr} - 0,667) \cdot G = (4,96 - 0,667) \cdot 5886 = \underline{25289,36N}$$

Odporová zložka zaťaženia podvozku

$$D_{h21,5\%}^{//} = D_{h24,6\%}^{//} = D_h^{//} = K \cdot n_{Pr} \cdot G = 0,25 \cdot 4,96 \cdot 5886 = \underline{7303N}$$

### Zaťaženie hlavného podvozku pre jednu podvozkovú nohu

Vertikálna zložka zaťaženia podvozku

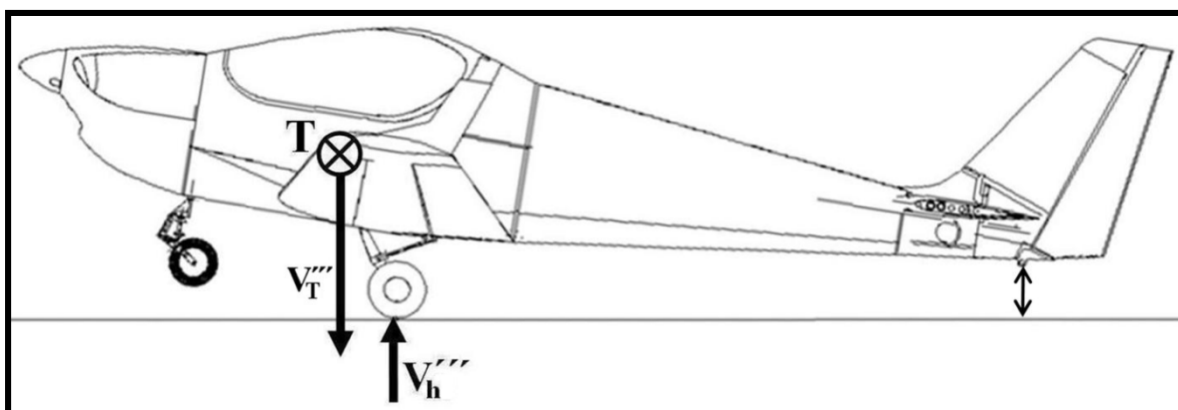
$$V_{h1P21,5\%}^{//} = V_{h1P24,6\%}^{//} = V_{h1P}^{//} = \frac{V_{h21,5\%}^{//}}{2} = \frac{25289,36}{2} = \underline{12644,684N}$$

Odporová zložka zaťaženia podvozku

$$D_{h1P21,5\%}^{//} = D_{h1P24,6\%}^{//} = D_{h1P}^{//} = \frac{D_{h21,5\%}^{//}}{2} = \frac{7303}{2} = \underline{3651,5N}$$

## 7.5 Zaťaženie pri pristávaní s veľkým uhlom nábehu

Letún pristáva na hlavný podvozok so sklopenou chvostovou časťou, obr. 7.7. Uhol nábehu musí byť taký, aby umožnil dostatočnú svetlú výšku (~250-270 mm) časti letúna dosahujúcej najnižšiu polohu nad pristávacou dráhou. Zaťaženie predného podvozku je nulové. [CS-VLA 481 dodatok C]



Obr. 7.7 Zaťaženie podvozku pri pristávaní s veľkým uhlom nábehu

### Vertikálna zložka v ťažisku

$$V_T^{///} = n_{Pr} \cdot G = 4,96 \cdot 5886 = \underline{29212,02N}$$

### Horizontálna zložka v ťažisku

$$D_T^{///} = 0$$

### Zaťaženie predného podvozku

$$V_{p21,5\%}^{///} = V_{p24,6\%}^{///} = D_{p21,5\%}^{///} = D_{p24,6\%}^{///} = 0$$

### Zaťaženie hlavného podvozku pre obe podvozkové nohy

Vertikálna zložka zaťaženia podvozku

$$V_{h21,5\%}^{///} = V_{h24,6\%}^{///} = (n_{pr} - 0,667) \cdot G = (4,96 - 0,667) \cdot 5886 = \underline{25289,37N}$$

Odporová zložka zaťaženia podvozku

$$D_{h21,5\%}^{///} = D_{h24,6\%}^{///} = 0$$

### Zaťaženie hlavného podvozku pre jednu podvozkovú nohu

Vertikálna zložka zaťaženia podvozku

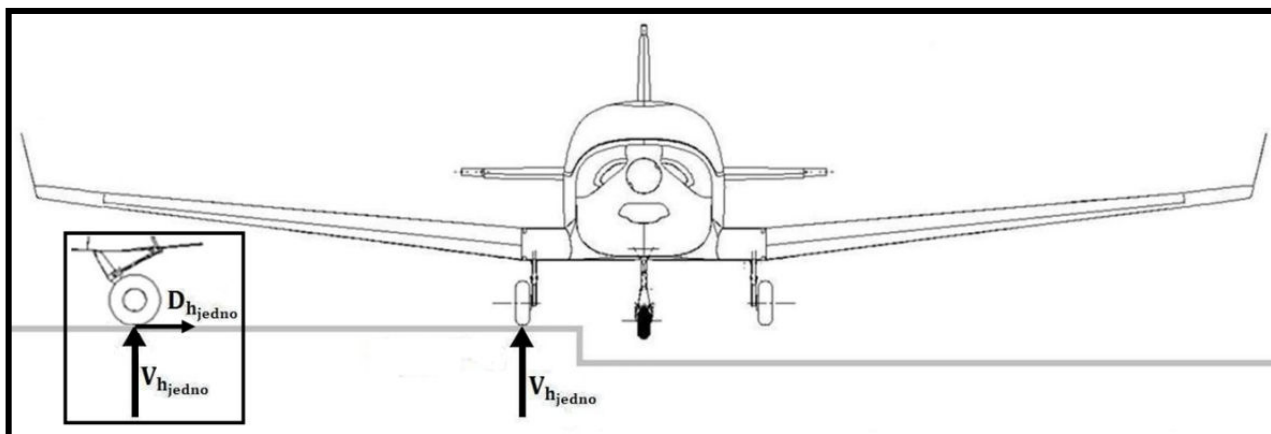
$$V_{h1P21,5\%}^{///} = V_{h1P24,6\%}^{///} = V_{h1P}^{///} = \frac{V_{h21,5\%}^{///}}{2} = \frac{25289,37}{2} = \underline{12644,68N}$$

Odporová zložka zaťaženia podvozku

$$D_{h1P21,5\%}^{///} = D_{h1P24,6\%}^{///} = 0$$

## 7.6 Zaťaženie pri pristáaní na jedno koleso

Pri pristávaní na jedno koleso sa uvažuje vodorovná poloha letúnu, dotyk len jednej strany hlavného podvozku so zemou a na podvozok pôsobí rovnaká sila ako pri vodorovnom pristávaní, obr. 7.8. [CS-VLA 483,479]



Obr. 7.8 Zaťaženie podvozku pri pristávaní na jedno koleso

Vertikálna zložka zaťaženia podvozku

$$V_{hjedno21,5\%} = V_{h1P21,5\%} = \underline{8588,91N}$$

$$V_{hjedno24,6\%} = V_{h1P24,6\%} = \underline{8924,73N}$$

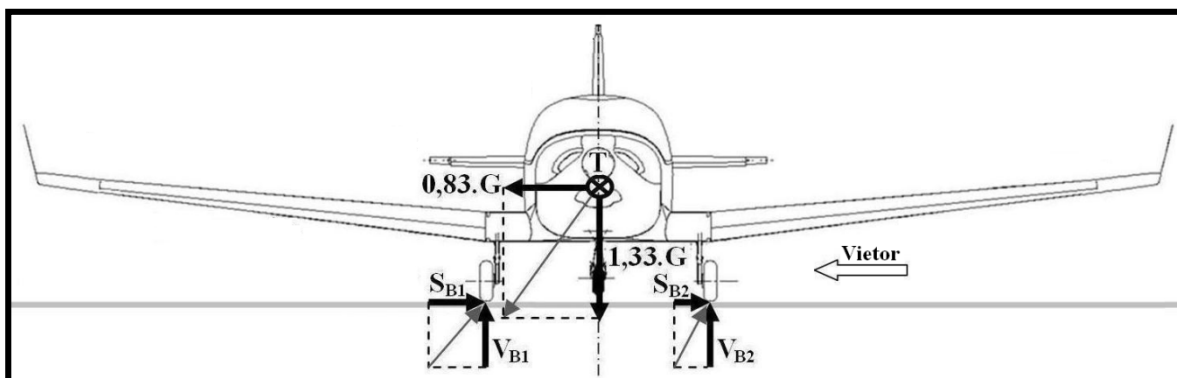
Odporová zložka zaťaženia podvozku

$$D_{hjedno21,5\%} = D_{h1P21,5\%} = \underline{2480,28N}$$

$$D_{hjedno24,6\%} = D_{h1P24,6\%} = \underline{2577,26N}$$

## 7.7 Zaťaženie pri pristávaní v bočnom vetre

Pri pristávaní s bočným zaťažením sa uvažuje vodorovná poloha letúna, dotyk len hlavného podvozku so zemou a statické stlačenie tlmiča a pneumatiky, obr. 7.9. Vertikálna sila v ťažisku letúna je rovnomerne rozdelená na obe hlavné kolesá a má veľkosť 1,33 krát väčšiu ako maximálna tiaž letúna  $G$ . Horizontálne bočné sily pôsobiace v ťažisku letúna majú veľkosť 0,83 krát väčšiu ako  $G$  a sú rozdelené medzi dve kolesá hlavného podvozku. Jednu podvozkovú nohu zaťažuje sila o veľkosti  $0,5 \cdot G$  smerom k osi súmernosti letúna a druhú nohu smerom od trupu s veľkosťou  $0,33 \cdot G$ . [CS-VLA 485]



Obr. 7.9 Zaťaženie podvozku pri pristávaní v bočnom vetre

Vertikálna zložka zaťaženia podvozku

$$V_{B1} = V_{B2} = V_B = \frac{1,33 \cdot G}{2} = 0,665 \cdot G = 0,665 \cdot 5886 = \underline{3912,85N}$$

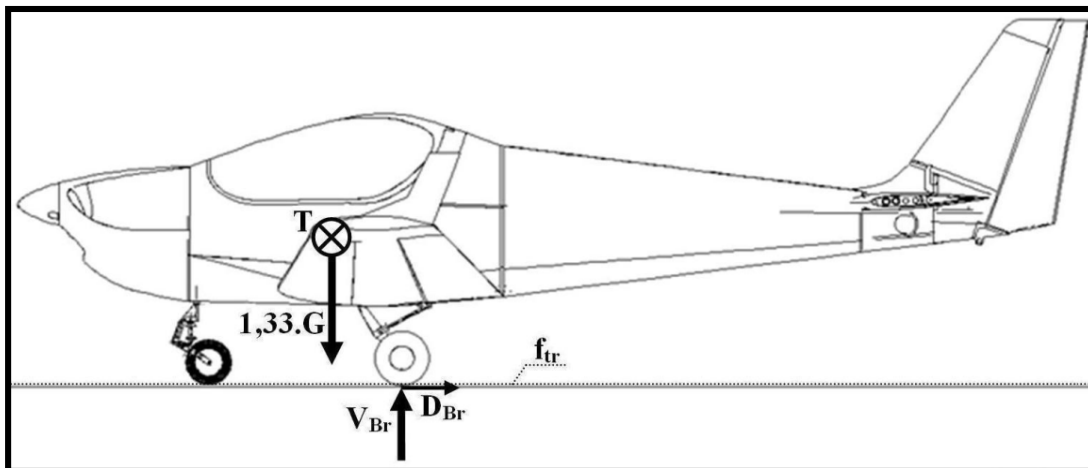
Bočná zložka zaťaženia podvozku

$$S_{B1} = 0,5 \cdot G = 0,5 \cdot 5886 = \underline{2942N}$$

$$S_{B2} = 0,33 \cdot G = 0,33 \cdot 5886 = \underline{1941,71N}$$

## 7.8 Zaťaženie podvozku počas brzdenia

Počas brzdenia sa uvažuje statické stlačenie tlmiča a pneumatiky, dotyk so zemou musí si zhodný ako v prípade vodorovného pristávania, obr. 7.10. Sila v ťažisku letúna má veľkosť 1,33 krát väčšiu ako tiaž letúna  $G$ . Odporová sila má súčiniteľ trenia 0,8 a je vyvozená brzdením v každom kolese, v ktorom sa nachádza brzda. [CS-VLA 493] V letúne Rapid 600 sú brzdovými kolesami obidve kolesá hlavného podvozku, predné koleso neobsahuje brzdu.



Obr. 7.10 Zaťaženie podvozku pri brzdení



## Zaťaženie jedného brzdeného podvozku

Vertikálna zložka zaťaženia podvozku

$$V_{Br} = \frac{1,33 \cdot G}{2} = 0,665 \cdot G = 0,665 \cdot 5886 = \underline{3912,85N}$$

Odporová zložka zaťaženia podvozku

$$D_{Br} = f_{tr} \cdot V_{Br} = 0,8 \cdot 3912,85 = \underline{3130,28N}$$

## 7.9 Dodatočné zaťaženie podvozku

Pre stanovenie dodatočného pozemného zaťaženia a pre uchytenie predného kolesa sa predpokladá statická poloha tlmičov a pneumatík, obr. 7.11. [CS-VLA 499]

### Zaťaženie smerom dozadu

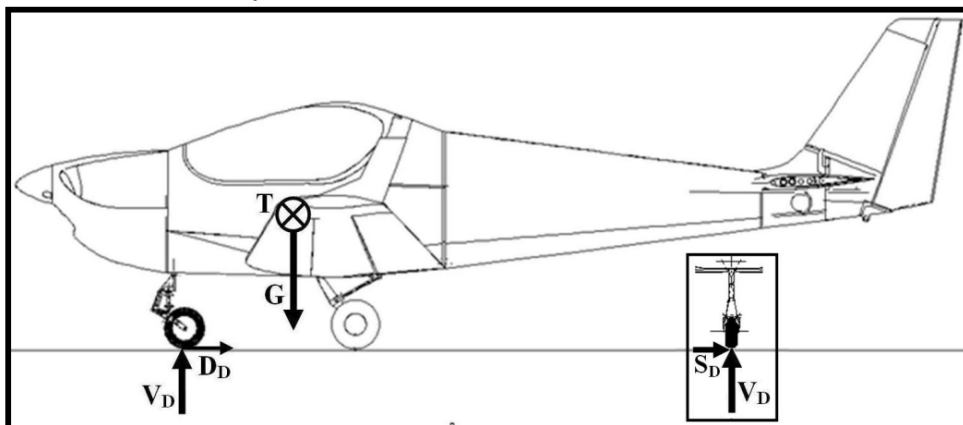
Zvislá zložka má veľkosť 2,25 krát statické zaťaženie predného kolesa a odporová zložka 0,8 krát zvislé zaťaženie pri státi letúna na zemi.

### Zaťaženie smerom dopredu

Zvislá zložka má veľkosť 2,25 krát statické zaťaženie predného kolesa a odporová zložka 0,4 krát zvislé zaťaženie pri státi letúna na zemi.

### Bočné zaťaženie

Zvislá zložka má veľkosť 2,25 krát statické zaťaženie predného kolesa a odporová zložka 0,7 krát zvislé zaťaženie pri státi letúna na zemi.



Obr. 7.11 Dodatočné zaťaženie predného kolesa

### Vertikálna reakcia

$$V_{Dzadu21,5\%} = V_{Dpredu21,5\%} = V_{Dbočné21,5\%} = V_{D21,5\%}$$

$$V_{D21,5\%} = 2,25 \cdot V_{p21,5\%} = 2,25 \cdot 1887,286 = \underline{4246,39N}$$

$$V_{Dzadu24,6\%} = V_{Dpredu24,6\%} = V_{Dbočné24,6\%} = V_{D24,6\%}$$

$$V_{D24,6\%} = 2,25 \cdot V_{p24,6\%} = 2,25 \cdot 1731,02N = \underline{3894,78N}$$

### Odporová reakcia

#### Zaťaženie smerom dozadu

$$D_{Dzadu21,5\%} = 0,8 \cdot V_{p21,5\%} = 0,8 \cdot 1887,286 = \underline{1509,82N}$$

$$D_{Dzadu24,6\%} = 0,8 \cdot V_{rh24,6\%} = 0,8 \cdot 1731,02N = \underline{1384,81N}$$

#### Zaťaženie smerom dopredu

$$D_{Dpredu21,5\%} = 0,4 \cdot V_{p21,5\%} = 0,4 \cdot 1887,286 = \underline{754,9N}$$

$$D_{Dpredu24,6\%} = 0,4 \cdot V_{p24,6\%} = 0,4 \cdot 1731,02 = \underline{692,4N}$$

## ZAŤAŽENIE PODVOZKU

### Bočné zaťaženie

$$S_{D_{\text{bočné}21,5\%}} = 0,7 \cdot V_{p21,5\%} = 0,7 \cdot 1887,286 = \underline{1321,1\text{N}}$$

$$S_{D_{\text{bočné}24,6\%}} = 0,7 \cdot V_{p24,6\%} = 0,7 \cdot 1731,02\text{N} = \underline{1211,71\text{N}}$$

### 7.10 Súhrn zaťaženia podvozku

V tab. 7.3 a 7.5 sa nachádza súhrn všetkých hodnôt vypočítaných prevádzkových zaťažení podvozku z predchádzajúcich bodov. Tab. 7.4 a 7.6 obsahujú výber maximálnych rozhodujúcich zaťažení podvozku a veľkosť výpočtového zaťaženia, ktoré sa rovná prevádzkovému zaťaženiu zvýšenému o koeficient bezpečnosti  $K=1,5$ .

| Zaťaženie hlavného podvozku pre jednu podvozkovú nohu |                                             |                                             |                            |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| Prípady zaťaženia                                     | Prevádzkové zaťaženie                       |                                             |                            |
|                                                       | Vertikálna sila                             | Horizontálna sila                           | Bočná sila                 |
| Podvozok na zemi                                      | $V_{h1P21,5\%} = 1998,35\text{N}$           | -----                                       | -----                      |
|                                                       | $V_{h1P24,6\%} = 2076,48\text{N}$           |                                             |                            |
| Vodorovné pristávanie so sklonenými reakciami         | $V'_{h1P21,5\%} = 8588,91\text{N}$          | $D'_{h1P21,5\%} = 2480,28\text{N}$          | -----                      |
|                                                       | $V'_{h1P24,6\%} = 8924,73\text{N}$          | $D'_{h1P24,6\%} = 2577,26\text{N}$          |                            |
| Pristávanie s predným kolesom tesne nad zemou         | $V_{h1P}^{//} = 12644,68\text{N}$           | $D_{h1P}^{//} = 3651,5\text{N}$             | -----                      |
| Pristávanie s veľkým uhlom nábehu                     | $V_{h1P}^{///} = 12644,68\text{N}$          | -----                                       | -----                      |
| Pristávanie na jedno koleso                           | $V_{h\text{jedno}21,5\%} = 8588,91\text{N}$ | $D_{h\text{jedno}21,5\%} = 2480,28\text{N}$ | -----                      |
|                                                       | $V_{h\text{jedno}24,6\%} = 8924,73\text{N}$ | $D_{h\text{jedno}24,6\%} = 2577,26\text{N}$ |                            |
| Pristávanie v bočnom vetre                            | $V_B = 3912,85\text{N}$                     | -----                                       | $S_{B1} = 2942\text{N}$    |
|                                                       |                                             |                                             | $S_{B2} = 1941,71\text{N}$ |
| Brzdzenie podvozku                                    | $V_{Br} = 3912,85\text{N}$                  | $D_{Br} = 3130,28\text{N}$                  | -----                      |

Tab. 7.3 Súhrn zaťaženia hlavného podvozku pre jednu podvozkovú nohu

## ZAŤAŽENIE PODVOZKU

| Maximálne zaťaženie hlavného podvozku pre jednu podvozkovú nohu |                                   |                                 |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Rozhodujúci prípad                                              | Prevádzkové zaťaženie             | Výpočtové zaťaženie             |
| Pristávanie s predným kolesom tesne nad zemou                   | $V_{h1P}^{//} = 12644,68\text{N}$ | $V_{hpoč} = 18967,02\text{N}$   |
|                                                                 | $D_{h1P}^{//} = 3651,5\text{N}$   | $D_{hpoč} = 5477,25\text{N}$    |
| Pristávanie v bočnom vetre                                      | $S_{B1} = 2942\text{N}$           | $S_{hpočdnu} = 4413\text{N}$    |
|                                                                 | $S_{B2} = 1941,71\text{N}$        | $S_{hpočvon} = 2912,56\text{N}$ |

Tab. 7.4 Rozhodujúce prípady zaťaženia pre hlavný podvozok

| Zaťaženie predného podvozku                   |                                  |                                     |                                      |
|-----------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Prípad zaťaženia                              | Prevádzkové zaťaženie            |                                     |                                      |
|                                               | Vertikálna sila                  | Horizontálna sila                   | Bočná sila                           |
| Podvozok na zemi                              | $V_{p21,5\%} = 1887,286\text{N}$ | -----                               | -----                                |
|                                               | $V_{p24,6\%} = 1731,02\text{N}$  |                                     |                                      |
| Vodorovné pristávanie so sklonenými reakciami | $V_{p21,5\%}' = 8111,59\text{N}$ | $D_{p21,5\%}' = 2342,43\text{N}$    | -----                                |
|                                               | $V_{p24,6\%}' = 7439,9\text{N}$  | $D_{p24,6\%}' = 2148,47\text{N}$    |                                      |
| Dodatočné zaťaženie                           | $V_{D21,5\%} = 4246,39\text{N}$  | $D_{Dzadu21,5\%} = 1509,82\text{N}$ | $S_{Dbočné21,5\%} = 1321,1\text{N}$  |
|                                               |                                  | $D_{Dzadu24,6\%} = 1384,81\text{N}$ |                                      |
|                                               | $V_{D24,6\%} = 3894,78\text{N}$  | $D_{Dpredu21,5\%} = 754,9\text{N}$  | $S_{Dbočné24,6\%} = 1211,71\text{N}$ |
|                                               |                                  | $D_{Dpredu24,6\%} = 692,4\text{N}$  |                                      |

Tab. 7.5 Súhrn zaťaženia predného podvozku

| Maximálne zaťaženie predného podvozku         |                                     |                               |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Rozhodujúci prípad                            | Prevádzkové zaťaženie               | Výpočtové zaťaženie           |
| Vodorovné pristávanie so sklonenými reakciami | $V_{p21,5\%}' = 8111,59\text{N}$    | $V_{ppoč} = 12167,38\text{N}$ |
|                                               | $D_{p21,5\%}' = 2342,43\text{N}$    | $D_{ppoč} = 3513,64\text{N}$  |
| Dodatočné zaťaženie smerom dozadu             | $S_{Dbočné21,5\%} = 1321,1\text{N}$ | $S_{ppoč} = 1981,65\text{N}$  |

Tab. 7.6 Rozhodujúce prípady zaťaženia pre predný podvozok

## 8. OVĽÁDANIE ZAŤAHOVACIEHO PODVOZKU

Ovládanie podvozku musí spoľahlivo zaistiť:

1. uzamknutie podvozku vo vysunutom stave
2. vysunutie podvozku
3. uzamknutie podvozku vo vysunutom stave
4. zasunutie podvozku
5. možnosť núdzového ovládania v prípade zlyhania systému
6. monitorovanie a oznamovanie správnej či nesprávnej funkcie bodov 1-5

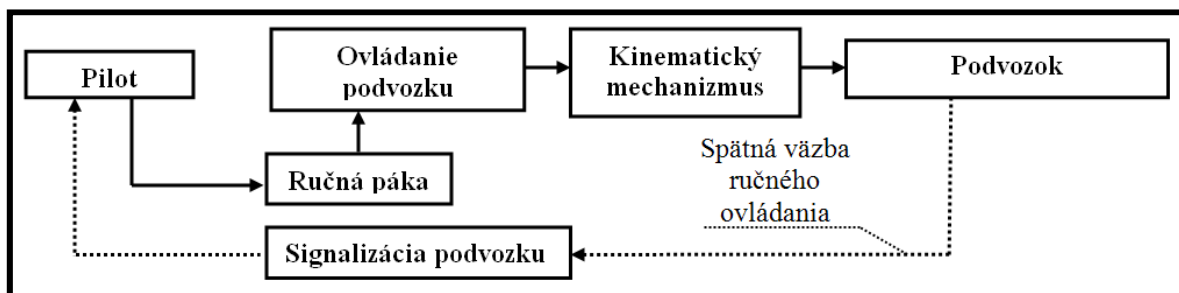
Ovládať podvozok budú tri systémy:

1. Automatické
2. Ručné
3. Núdzové

### 8.1 Ručné ovládanie podvozku

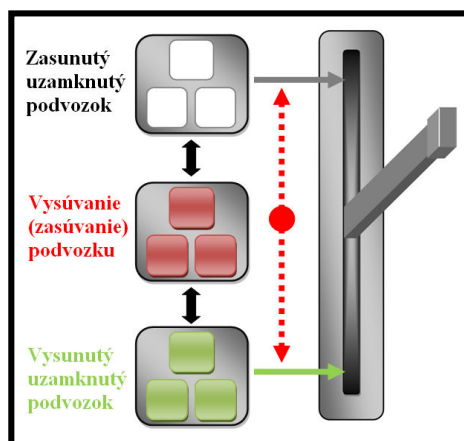
#### 8.1.1 Princíp a popis systému

Pre ručné ovládanie podvozku bude na palubnej doske páka z dvoma polohami, zasunutý/vysunutý podvozok, obr. 8.2. Pilot presunie páku do požadovanej polohy, tým sa vyšle impulz do ovládacej jednotky podvozku, ktorou bude elektromechanická vzpera. Vzpera je zdrojom pohybu pre kinematický mechanizmus ovládania podvozku. Po skončení činnosti sa podvozok uzamkne v jednej z krajných polôh. Spätná väzba systému bude umiestnená v zámkoch pre obe polohy podvozku (vysunutý/zasunutý) a bude viesť späť k pilotovi. Princíp činnosti je znázornený na obr. 8.1.



Obr. 8.1 Princíp činnosti ručného ovládania podvozku

Správna funkcia podvozku bude signalizovaná na palubnej doske troma kontrolkami, obr. 8.2. Každá kontrolka náleží jednej podvozkovej nohe. Poloha umiestnenia každej kontrolky zodpovedá pôdorysnej geometrii podvozku. Horná kontrolka je pre predný podvozok a pod ňou sa nachádzajú ďalšie dve pre hlavný podvozok. (ľavá pre ľavú, pravá pre pravú podvozkovú nohu). Páka ručného ovládania presunutá do hornej polohy je stav pre uzamknutý zatiahnutý podvozok, kontrolky nesvietia. Počas presúvania páky medzi hornou a dolnou polohou podvozku sa farba kontroliek zmení na červenú. Po dosiahnutí dolnej polohy páky pre polohu uzamknutého podvozku vo vysunutom stave sa farba zmení na zelenú. Ak dôjde k poruche činnosti alebo uzamknutia niektorej z podvozkových nôh príslušná kontrolka ostane červenej farby, začne blikať a spustí sa aj zvukové upozornenie prerušovaných tónom.

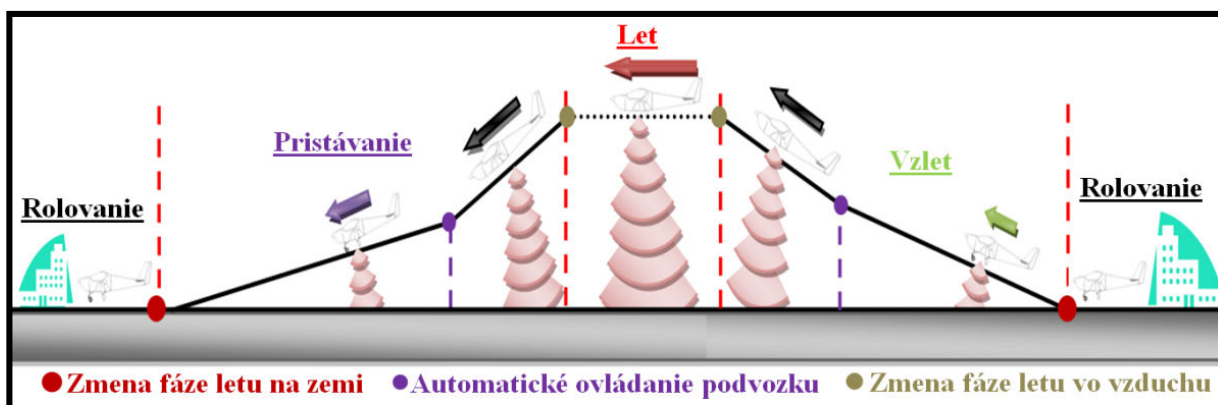


Obr. 8.2 Signalizácia podvozku pre ručné ovládanie

## 8.2 Automatické ovládanie podvozku

### 8.2.1 Návrh a popis systému

Letún Rapid 600 je určený na turistické rekreačné lietanie. Štandardný let sa skladá zo štyroch základných fáz: rolovanie, vzlet, samotný let a pristávanie. Vzlet aj pristávanie sa dajú rozdeliť s pohľadu automatického ovládania podvozku na ďalšie dve fázy: časť s vysunutým a zasunutým podvozkom. Pre automatické ovládanie podvozku sú dôležité tri charakteristické body ohraničujúce pole pôsobnosti systému. Prvým bodom je bod rozpoznania fázy letu na zemi, tzn. hranica medzi rolovaním a vzletom (pristávaním a rolovaním). Druhý bod určuje okamih automatického ovládania podvozku (vysúvanie a zasúvanie). Tretí charakteristický bod je hranica medzi vzletom (pristávaním) a letovou fázou. Pre činnosť automatického ovládania podvozku bude nutné snímať a v reálnom čase vyhodnocovať štyri hodnoty: výšku, rýchlosť, stlačenie tlmičov a polohu vztlačových klapiek. Podrobný popis činností systému a kritických režimov je v správe pre grant Leteckého ústavu LU23-2010-JA6.SY.



Obr. 8.3 Charakteristické body pre automatické ovládanie podvozku

Tab. 8.1 obsahuje predbežný návrh parametrov automatického ovládania podvozku.

| Činnosť systému        | Zatiahnutie podvozku | Prechod na let | Prechod na pristávanie | Vytiahnutie podvozku |
|------------------------|----------------------|----------------|------------------------|----------------------|
| v [kmh <sup>-1</sup> ] | 110                  | 200            | Volí pilot             | 250                  |
| H [m]                  | 120                  | 250            |                        | 130                  |

Tab. 8.1 Predbežný návrh parametrov systému

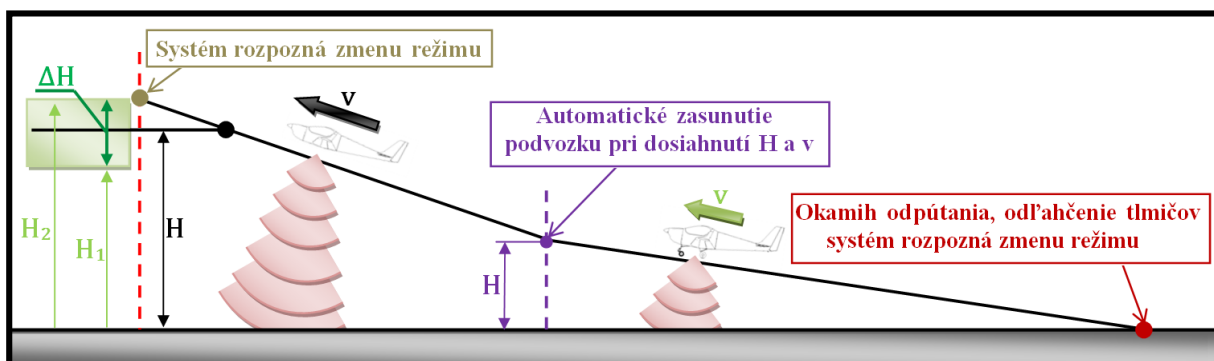
Na meranie výšky letún bude obsahovať modul pre snímanie reálnej výšky nad terénom. Rýchlosť bude snímaná z pito-statického systému letúnu opravená o chybu prístroja a polohy. Stlačenie tlmičov budú snímať senzory. Poloha klapiek bude vyhodnocovaná napojením na systém ovládanie klapiek a jeho spätnú väzbu. V nasledujúcich bodoch bude stručne priblížená funkcia systému v každom režime a hlavné kritické režimy, ktoré je systém schopný v danom režime odhaliť. Ich prehľadné tabuľové zhrnutie sa nachádza prílohe 1 (Rozbor činností systému automatického ovládania) a v prílohe 2 (Analýza kritických režimov).

### **Rolovanie, rozpoznanie vzletu**

V tlmiči každého kolesa bude zabudovaný snímač pre meranie úrovne stlačenia tlmičov. Pomocou týchto snímačov a výšky nad zemou systém rozpozná, že sa letún nachádza na zemi, tým že tlmiče budú vykazovať určité stlačenie. V prípade vzletu, od okamihu odpútania sa od zeme sa odľahčia podvozkové nohy a tlmiče sa budú nachádzať v nestlačenej polohe. Asistencia snímania výšky pri rozpoznávaní prechodu zem/vzlet a pristávanie/zem je nutná z dôvodu možných nadskočení a odľahčení všetkých troch tlmičov počas pohybu na nerovnom povrchu. Systém až vtedy rozpozná hranicu zem/vzlet keď sa odľahčia tlmiče a zvýši sa výška o určitú hodnotu. Rovnakým spôsobom, ale v opačnom poradí sa rozpozná hranica medzi pristávaním a rolovaním. Počas rolovania pred vzletom systém skontroluje, či je schopný automaticky ovládať podvozku, monitoruje zámky vysunutého podvozku a zároveň blokuje zasunutiu podvozku pokiaľ sa letún nachádza na zemi. V prípade zistenia poruchy systém vydá upozornenie pilotovi. V tomto prípade rozhoduje o ovládaní podvozku po vzlete pilot s odporúčením prerušenia letu, vrátenia sa na letisko a opravu poruchy.

### **Vzlet, rozpoznanie letu**

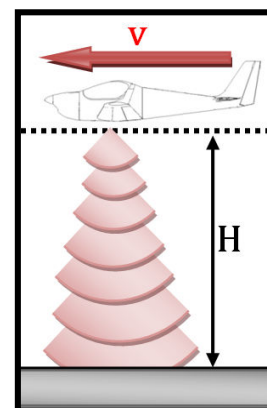
Po odpútaní kolies (odľahčenie tlmičov) a nabratí určitej výšky od vzletovej dráhy systém rozpozná, že sa nachádza vo vzletovom režime a bude monitorovať bezpečný vzlet, ktorý bude definovaný dvoma parametrami: výškou H a rýchlosťou  $v$ , obr. 8.4. Oba tieto parametre bude systém merať a vyhodnocovať. Pre určitú výšku bude musieť zodpovedať určitá rýchlosť a pre obe hodnoty bude určený bezpečný interval v ktorom sa smie letún pohybovať. Po prekročení hranice jedného alebo oboch intervalov systém bude varovať pilota, že sa nachádza v kritickom režime a že je potreba korekcie výšky či rýchlosti. Po dosiahnutí určitej výšky nad vzletovou dráhou systém automaticky najprv oznámi pilotovi dosiahnutie potrebnej výšky na zatiahnutie podvozku a potom ho automaticky zatiahne. Po zatiahnutí podvozku až po okamih vysunutia systém neustále kontroluje jeho bezpečné uzamknutie. V tomto režime systém monitoruje maximálnu rýchlosť pre zasunutie podvozku, maximálnu rýchlosť pre vztlakové klapky v polohe pre vzlet a pádovú rýchlosť bez a so vztlakovými klapkami pre polohu vzletu. Systém rozpozná ukončenie vzletovej fáze dosiahnutím hraničnej výšky alebo rýchlosti. Ak výška, či rýchlosť poklesnú po dosiahnutí hraničných hodnôt systém bude stále pracovať v režime letu. Tieto hodnoty stačí dosiahnuť len raz, aby systém rozpoznal letový režim. Systém informuje pilota o správnom chode všetkých funkcií svojou nečinnosťou. Pri zistenej poruche, či kritického režimu výrazne varuje pilota.



Obr. 8.4 Vzlet s automatickým zasunutím podvozku

## Let

Systém počas letu vyhodnocuje aktuálnu výšku letúnu nad zemou a rýchlosť letu. Po zistení, že letún letí príliš blízko zeme a nenachádza sa v režime vzletu či pristávania systém automaticky vyzve pilota, aby svoju výšku zvýšil a tým zvýšil bezpečnosť letu. Ak pilot nezareaguje na výzvu, systém oznámi pilotovi automatické vysunutie podvozku a vysunie podvozok. Pri zistení rýchlosti blížiacей sa k maximálnej neprekročiteľnej rýchlosti systém vyzve pilota na zníženie rýchlosti. V režime let sa monitoruje aj pádová rýchlosť. Systém reaguje na hroziacu pádovú rýchlosť varovaním pilota. V prípade, ak sa rýchlosť po varovaní nezvýši, systém zablokuje možnosť vysunutia podvozku a tým zvýšeniu odporu a ďalšiemu zníženiu rýchlosti letúna. Samozrejme sa neustále monitorujú zámky podvozku pre zatiahnutý stav až po okamih vysunutia podvozku.

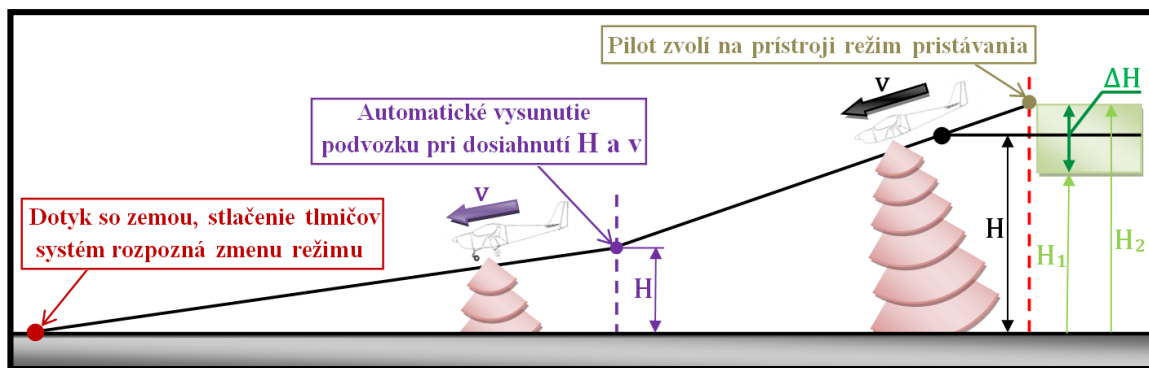


Obr. 8.5 Let so zisťovaním výšky nad zemou

## Prechod na pristávanie, pristávanie, rozpoznanie dosadnutia

Činnosť systému automatického ovládania podvozku v pristávacej fáze letu zahajuje pilot. Pilot prepne na prístroji pre automatické ovládanie (viď ďalší bod) systém do režimu pristávania v okamihu zahájenia klesania na pristávanie. Princíp činnosti je rovnaký ako u vzletu len jednotlivé udalosti prebiehajú opačnom slede. Rozdiel spočíva v tom že namiesto bezpečného vzletu je intervalmi výšky a rýchlosti ohraničené bezpečné pristávanie, obr. 8.6. Pri vychýlení od hranice jedného alebo oboch intervalov systém varuje pilota, že je potreba korekcie výšky či rýchlosti. Po dosiahnutí potrebnej a bezpečnej výšky nad pristávacou dráhou systém upozorní pilota a potom automaticky vysunie podvozok. Systém dohliada na správne vysunutie a uzamknutie podvozku vo vysunutom stave a na pádovú rýchlosť bez klapiek a s klapkami v polohe pre vzlet a pristávanie. Ak dôjde k hrozbe blížiacей sa pádovej rýchlosti a ešte podvozok je stále v zatiahnutej polohe, systém po varovaní automaticky nevysunie podvozok, aby tým nezvýšil odpor letúna a zabránil pravdepodobnému pádu letúna. V tomto režime systém sleduje aj maximálnu rýchlosť pre vysunutie podvozku. V prípade zistenia nejakého kritického režimu dôjde k varovaniu pilota. Napríklad ak sa podvozok nevysunul pilot vysunie podvozok použitím ručného ovládania podvozku. V prípade zlyhania aj tohto spôsobu pilot môže vysunúť podvozok núdzovým ručným ovládaním. V okamihu dotknutia kolies s pristávacou dráhou sa stlačia tlmiče a systém rozpozná za asistencie stálej nízkej výšky ukončenie pristávacej fázy a prepne sa automaticky do režimu rolovania.



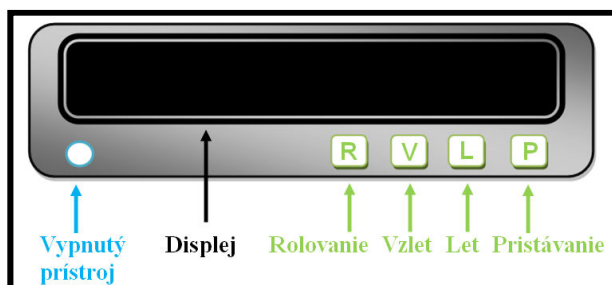


Obr. 8.6 Pristávanie s automatickým vysunutím podvozku

### 8.2.2 Návrh prístroja na palubnej doske

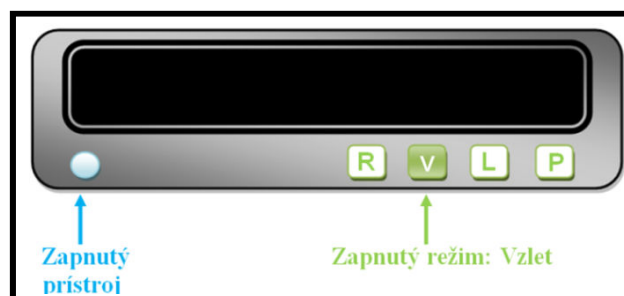
Táto kapitola podáva základnú súhrnnú predstavu o činnosti prístroja systému automatického ovládania na palubnej doske. Všetky možné navrhované zobrazenia prístroja sa nachádzajú v prílohe 1 (Rozbor činností systému automatického ovládania) a navrhované správy na displeji pre každý kritický režim v prílohe 2 (Analýza kritických režimov). Podrobná textová podoba príloh 1 a 2 je obsahom správy pre grant Leteckého ústavu LU23-2010-JA6.SY.

Návrh prístroja vychádza z popisu navrhovaných funkcií. Je navrhnutý pre prehľadnú komunikáciu a jednoduché použitie. Popis prístroja je na obr. 8.7. Prístroj sa skladá z displeja a piatich tlačidiel. Pri vypnutom prístroji tlačidlá majú bielu farbu a nesvietia, aby nedochádzalo k rušeniu pozornosti pilota.



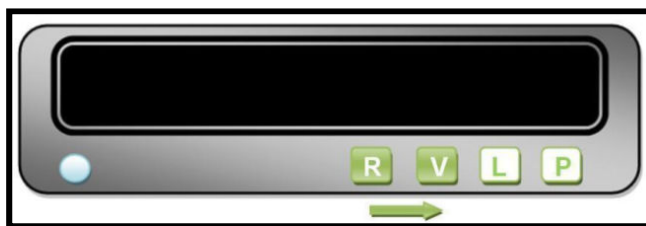
Obr. 8.7 Popis prístroja

Na obr. 8.8 je znázornený zapnutý prístroj, letún sa nachádza v režime: Vzlet. Prístroj sa zapína automaticky pri naštartovaní letúna. Ak systém nezistí kritický režim displej ostáva nečinný a tlačidlá aktívneho režimu svietia zelenou tlmenou farbou nerušiacou pilotovu pozornosť.



Obr. 8.8 Zapnutý prístroj

Zmenu režimov letu: rolovanie/vzlet, vzlet/let a pristávanie/rolovanie rozpoznáva systém automaticky. Svetelná zmena týchto tlačidiel pri zmene režimu slúži ako vizuálna kontrola pre pilota, či systém pracuje správne, obr. 8.9.



Obr. 8.9 zmena automaticky rozpoznávaných režimov

V prípade poruchy rozoznania režimu môže pilot zmeniť režim na prístroji stlačením príslušného tlačidla, obr. 8.10 vľavo. Jedine hranicu medzi letom a pristávaním určuje pilot vždy sám, obr. 8.10 vpravo.



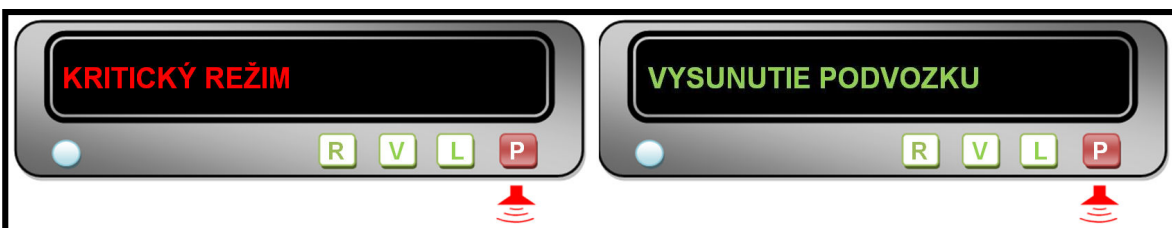
Obr. 8.10 Voľba režimov pilotom

Pred automatickým vysunutím/zasunutím podvozku systém najprv pilota upozorní vypísaním správy na displeji a zároveň aj zvukovým upozornením, obr. 8.11. Pri vysunutí/zasunutí podvozku sa mení odpor letúna a tým aj jeho letové charakteristiky. Z tohto dôvodu je potreba pred ich zmenou pilota vždy upozorniť.



Obr. 8.11 Informovanie pilota o automatickom ovládaní podvozku

Na obr. 8.12 vľavo sa letún nachádza v režime pristávanie pri zistenom kritickom režime. Systém vypíše na displej zistenú chybu. Tlačidlo režimu, v ktorom sa letún nachádza začne blikať červenou farbou a zároveň systém upozorňuje pilota aj prerušovaným tónom. Po uplynutí určitej doby bez pilotovej korekcie kritického režimu systém automaticky vysunie podvozok (obr. 9.12 vpravo) v prípade ak kritický režim nenastal z dôvodu poruchy podvozku a podmienky (rýchlosť letu pre vysunutie) to umožňujú. Ak by vysunutie podvozku kritický režim zhoršilo (napr. pri blížiacej sa pádovej rýchlosti) systém podvozok nevysunie a blokuje možnosť vysunutia aj keď sa letún nachádza v bode pre automatické vysunutie podvozku.

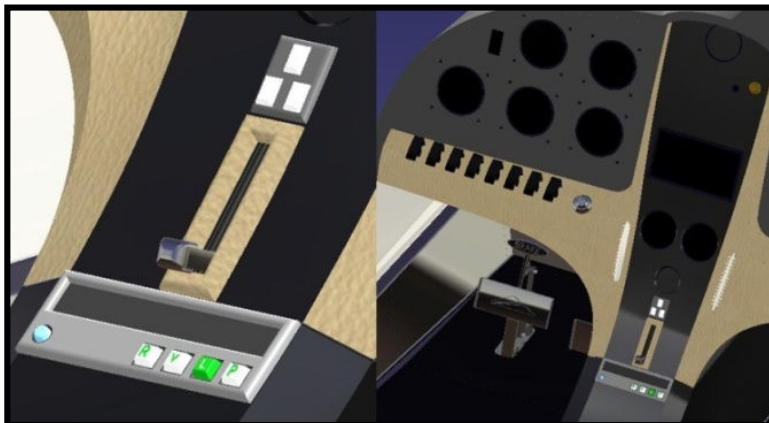


Obr. 8.12 Varovanie pred kritickým režimom

Prehľadné tabuľové zhrnutie návrhu činností prístroja sa nachádza prílohe 1 a 2. Podrobný popis všetkých možných stavov je v správe pre grant Leteckého ústavu LU23-2010-JA6.SY.

### Návrh umiestnenia prístroja na palubovej doske

Prístroj sa umiestnil v dolnej časti stredového panela prístrojovej dosky. Nad prístrojom sa nachádza páka ručného ovládania podvozku a nad ňou sú kontrolky pre signalizáciu činnosti podvozku. Tieto tri prístroje tvoria blok všetkých komponentov pre ovládanie podvozku (okrem núdzového ovládania) a kontrolu činnosti podvozku umiestnené vedľa seba tak, aby k nim mali obaja piloti rovnaký prístup. Na obr. 8.13 je zobrazené navrhované umiestnenie prístroja pre automatické ovládanie podvozku na prístrojovej doske letúna Rapid 600.



Obr. 8.13 Umiestnenie prístroja na palubnej doske

Prístroje nepatria medzi najpoužívanejšie, preto nie sú umiestnené ani na jednej z hlavných plôch palubovej dosky, v hlavnom zornom uhle pilota. Hlavné miesta na palubovej doske v hornej časti sú vyhradené pre najviac používané prístroje. Podvozkové prístroje sa využívajú len pri vzlete a pristávaní. Za bezporuchových a nekritických režimov podvozok nevyžaduje pozornosť pilota, ktorý môže svoju pozornosť sústrediť na iné činnosť. Pri správnej funkcii automatického ovládania podvozku pilot len krátkym pohľadom kontroluje zmenu režimov letu, obr. 8.14. Pilot vždy určuje len hranicu režimov letu a pristávania, obr. 8.14. Nižšia poloha umiestnenia týchto prístrojov je volená z týchto dôvodov.



Obr. 8.14 Voľba režimu pre pristávanie

Za ideálnych podmienok pilotovi na ovládanie podvozku stačí len jedna voľba pre podvozok. Táto voľba sa deje ešte pred samotným pristávacím manévrom. Počas samotného pristávania sa pilot môže plne sústrediť na iné úkony zabezpečujúce bezpečné pristávanie a o podvozok sa už nemusí starať. Systém automatického ovládania podvozku je navrhnutý ako podporný systém pre zníženie psychickej záťaže pilota a zvyšujúci bezpečnosť v každom režime štandardnej prevádzky.

### 8.2.3 Rozbor činností systému automatického ovládania

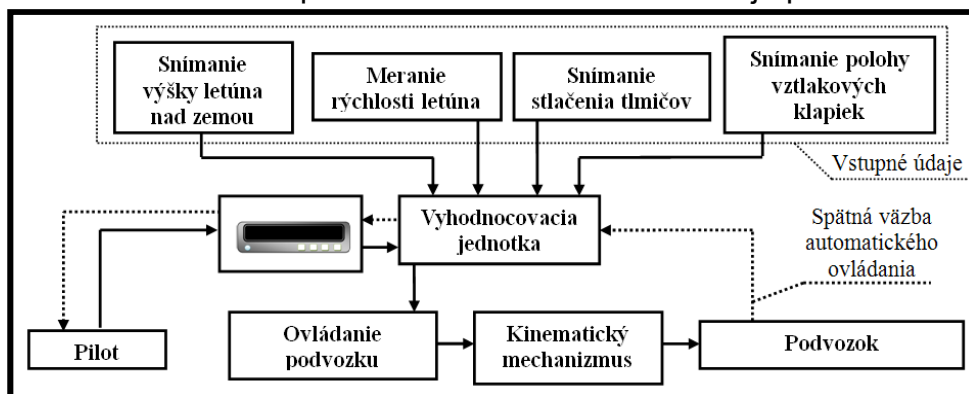
Rozbor sa nachádza v prílohe 1. Je v nej podrobne popísaná činnosť automatického ovládania podvozku. Základné delenie rozboru je podľa režimov, v ktorých sa letún nachádza slovné opísaných v predchádzajúcich bodoch. V každom režime sú popísané snímané a vyhodnocované hodnoty s následným popisom funkcie pre ktorú údaje slúžia. V nasledujúcej časti rozboru sa nachádza slovný popis činnosti systému za podmienok bezpečného režimu a zároveň zobrazenie činnosti prístroja na palubnej doske. Posledná časť rozboru sa zaoberá popisom činnosti systému pri zistenom kritickom režime. Popisuje činnosť pilota a zobrazuje reakciu prístroja na palubnej doske. Rozbor má podať úplnú predstavu o navrhovaných činnostiach systému automatického ovládania podvozku.

### 8.2.4 Analýza kritických režimov

Analýza vychádza z návrhu, popisu a funkcií systému z predchádzajúceho bodu. Sú v nej spracované prípady vyplývajúce z funkcií a možností systému. Hlavné rozdelenie analýzy je podľa režimov, v ktorých sa letún počas svojej prevádzky nachádza. Vo všetkých režimoch systém monitoruje rovnaké vstupné hodnoty, ale v každom režime ich vyhodnocuje inak. Nasleduje popis funkcie prístroja, kritického režimu a jeho dôsledok. Ďalej sa analýza zaoberá opísaním reakcie systému na zistený kritický režim a požadovanými reakciami pilota. Analýza kritických režimov má definovať kritické režimy a určiť spôsob činnosti automatického ovládania podvozku, nachádza sa v prílohe 2. Jej štruktúra bola zvolená na základe funkčnej analýzy rizík FHA z dokumentov [11], [12] a [13]. Oproti doporučenému formátu sa vynechal stĺpec pre posúdenie miery rizika poruchy funkcií (minor, major, hazardous, catastrophic). Predpis CS-VLA nedefinuje tieto riziká. Stĺpec pre zaradenie funkcie do režimov sa umiestnil na prvé miesto, lebo v každom režime systém obsahuje iné funkcie.

### 8.2.5 Zhrnutie princípu systému automatického ovládania podvozku

Systém meria a vyhodnocuje štyri vstupné hodnoty: výšku nad terénom, rýchlosť letúna, stlačenie tlmičov a polohu vztlakových klapiek. Podľa režimu v ktorom sa práve letún nachádza naprogramovaná vyhodnocovacia jednotka vyhodnocuje získané údaje a na základe nich rozhoduje o ovládaní podvozku alebo informovaní pilota na hroziaci kritický režim letu. Správna činnosť podvozku je monitorovaná spätnou väzbou, ktorou sú zámky podvozku v oboch polohách. V prípade poruchy alebo zlyhania pilot ovláda podvozok sám ručným ovládaním. Ak zlyhá aj ručné ovládanie pilot má možnosť vysunúť podvozok núdzovou pákou. Systém dokáže rozpoznať rozhranie letových fáz: rolovanie/vzlet, vzlet/let, pristávanie/rolovanie. Nedokáže určiť hranicu let/pristávanie. Tento okamžik určuje pilot.



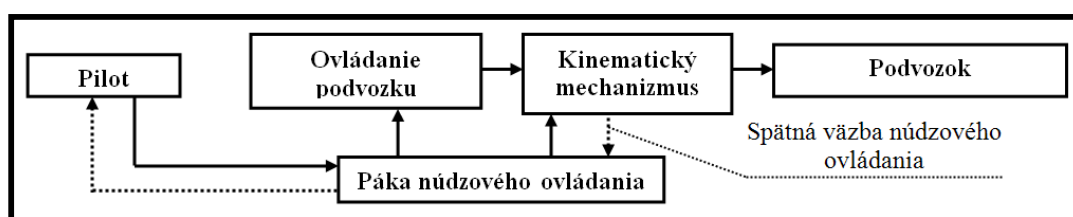
Obr. 8.15 Princíp činnosti systému automatického ovládania podvozku

Systém dohliada na bezpečnosť letúna počas vzletu a pristávania, automaticky ovláda vysúvanie a zasúvanie podvozku. Už od rolovania, celý čas, monitoruje správnu funkciu podvozku. V prípade zistenia poruchy podvozku alebo kritického režimu letu systém okamžite varuje pilota vypísaním zisteného problému na displeji, svetelnou a zvukovou signalizáciou. Systém zvyšuje bezpečnosť prevádzky celého letúna a znižuje psychickú záťaž pilota tým, že automaticky ovláda podvozok, dohliada na správnu funkciu podvozku a kritické režimy letu. Systém má potenciál pre ďalší vývoj, rozšírenie alebo spoluprácu s podobnými automatickými či monitorovacími systémami zvyšujúcich bezpečnosť a znižujúcich psychickú záťaž pilota. Zvýšením počtu snímaných údajov alebo dokonalejšími snímačmi by sa rozšíril počet funkcií. Viacero funkcií systému by viedlo k zvýšeniu počtu kritických režimov, ktoré by vedel systém rozpoznať reagovať na ne. Týmto vylepšeniami by sa zvýšila bezpečnosť prevádzky nie len z pohľadu ovládania podvozku, ale aj celej prevádzky malých a stredných letúnov. Každé vylepšenie systému by vyžadovalo spracovanie podobného návrhu ako je tento základný návrh systému.

### 8.3 Núdzové ovládanie podvozku

#### 8.3.1 Princíp a popis systému

Núdzové ovládanie slúži k vysunutiu podvozku v prípade poruchy automatického systému a ručného ovládania. Systém sa ovláda ručnou pákou, ktorá sa nachádza medzi dvoma sedadlami. Páka je spojená z kinematickým mechanizmom a mechanickým spôsobom odpojí elektromechanickú vzperu (zdroj ovládania podvozku). Po odpojení páka odomkne zámky zatiahnutého podvozku, ktorý sa vplyvom vlastnej váhy vysunie (vypadne). Nakoniec páka uzamkne podvozok vo vysunutej polohe. Keďže páka núdzového ovládania je priamo spojená z kinematickým mechanizmom podvozku zároveň slúži aj ako spätná väzba. Páka sa pohybuje aj v prípade ovládania podvozku ručným alebo automatickým spôsobom. Správnu činnosť podvozku páka signalizuje svojou polohou (zatiahnutá / vytiahnutá poloha). Princíp núdzového ovládania podvozku je zobrazený na obr. 8.16



Obr. 8.16 Princíp činnosti núdzového ovládania podvozku

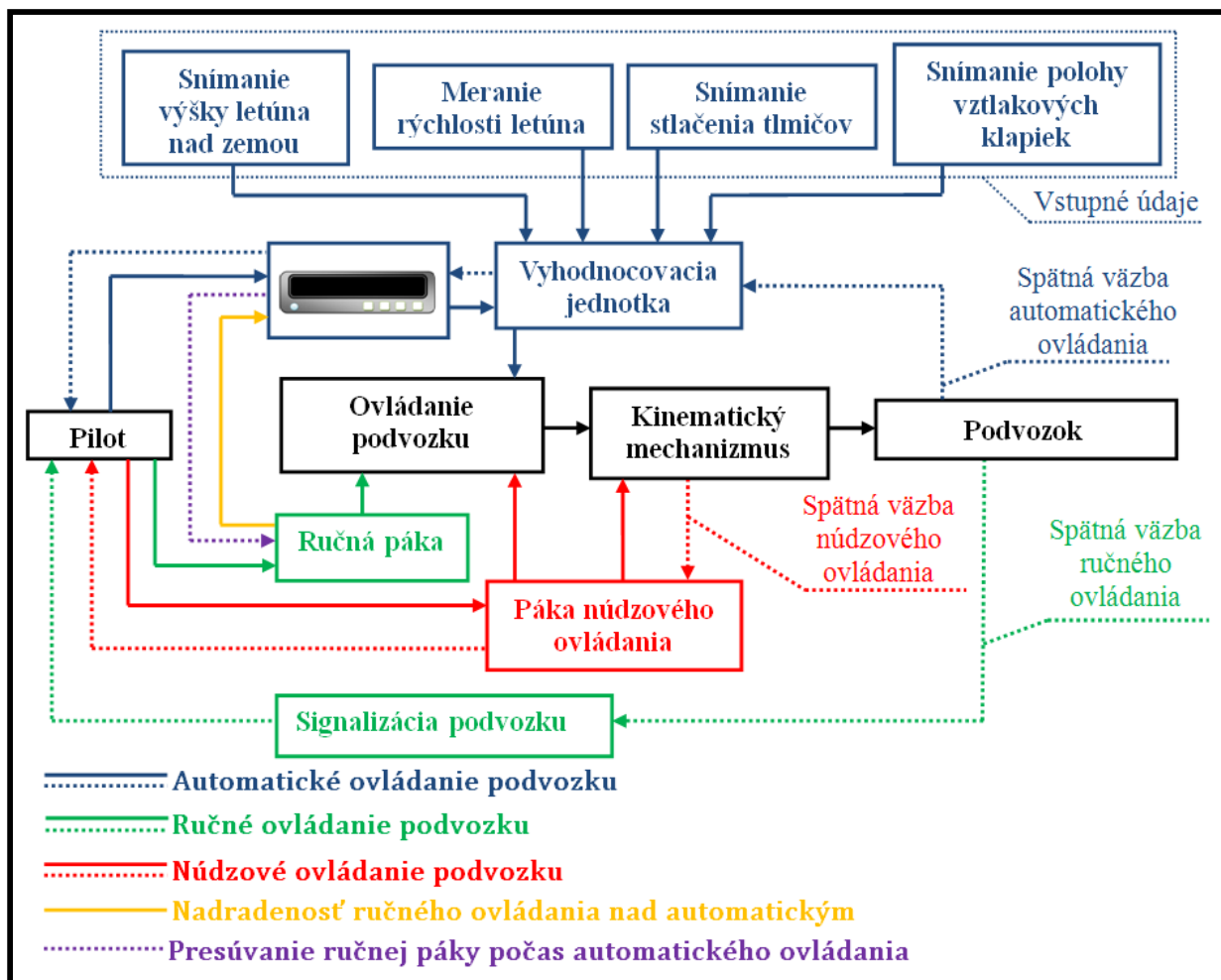
### 8.4 Súhrn možností ovládania zaťahovacieho podvozku

#### Vzájomné vzťahy systémov ovládania podvozku

Pre správnu funkciu zaťahovania a vyťahovania podvozku je dôležité určiť spoluprácu a nadsadenosť všetkých troch systémov opísaných v predchádzajúcich kapitolách. Samotný pohyb podvozku zabezpečuje ručné ovládanie. Automatické ovládanie pracuje so sústavou ručného ovládania. Zbiera údaje a následne ich vyhodnocuje. Na základe vyhodnotenia posielá impulzy do riadiacej jednotky podvozku a zároveň informuje pilota. Núdzové ovládanie odpája riadiacu jednotku a je priamo spojené z kinematickým mechanizmom podvozku.



## OVLÁDANIE ZAŤAHOVACIEHO PODVOZKU



Obr. 8.17 Celková schéma ovládania podvozku

Primárne sa podvozok ovláda automaticky, ručné ovládanie je sekundárny spôsob. Dôležité je, aby pilot mal možnosť vypnúť automatické ovládanie a mohol kedykoľvek rozhodovať o podvozku. Ručné, automatické a núdzové ovládanie sú vzájomne prepojené. Ak sa podvozok ovláda automatickou možnosťou zároveň sa automaticky spolu s pohybom podvozku pohne i páka ručného ovládania. Rovnako sa aj páka núdzového ovládania presúva pri pohybe podvozku, keďže je priamo spojená z kinematickým mechanizmom. I keď automatické ovládanie sa zapne s naštartovaním letúna pilot ho má možnosť vypnúť, vypínacím tlačidlom či ho prerušiť. Prerušenie automatického ovládania bude možné pákou ručného ovládania. V prípade, ak pilot rozhodne o vysunutí (zasunutí) podvozku v inom okamihu ako automatické ovládanie, systém automatického ovládania to bude rešpektovať. Týmto spôsobom ručné ovládanie bude nadradené automatickému s tým, že automatické ovládanie letún bude používať ako prvý spôsob ovládania podvozku. Automatické ovládanie je navrhnuté ako podpora pre uľahčenie pilotáže a zvýšenie bezpečnosti. V prípade zlyhania automatického aj ručného ovládania sa podvozok vysunie núdzovým ovládaním.

Všetky tri spôsoby popri ovládaní podvozku majú aj monitorovaciu funkciu. Každý systém o správnom vysunutí, zasunutí a zaistení v oboch polohách informuje pilota svojou nezávislou spätnou väzbou (viď predchádzajúce body).

Pridaním systému automatického ovládania podvozku k dvom tradičným spôsobom (ručné a núdzové) sa celkovo zvýši spoľahlivosť ovládania podvozku, zvýši sa bezpečnosť a zároveň sa zníži psychická záťaž pilota.

## **9. KOMENTÁR A ZHODNOTENIE NÁVRHU PODVOZKU**

### **9.1 Návrh zaťažovacej varianty podvozku**

Celý podvozok bol riešený s ohľadom na čo najmenšie množstvo úprav konštrukcie letúna s pevným podvozkom a so zachovaním jeho parametrov. Výška predného aj hlavného zaťažovacieho podvozku ostala totožná ako výška pevného podvozku.

Konštrukcia prednej podvozkovkej nohy sa zachovala rovnaká ako v pevnej variante. Zmenila sa jej zástavba v podobe uchytenia na navrhnuté rozšírené motorové lôžka, čím sa podvozok posunul o 200 mm smerom dopredu a znížilo sa jeho zaťaženie o 13,45%. Menšie zaťaženie prispieva k zvýšeniu bezpečnosti predného podvozku.

Na hlavný podvozok na navrhla nová konštrukcia a netradičné riešenie zaťažovania podvozku pre túto kategóriu letúna. V zaťažovacom hlavnom podvozku ostalo zachované z pevnej varianty koleso s brzdou, tlmič a poloha kolesa voči centrolánu vo vytiahnutej polohe.

### **9.2 Návrh systému automatického ovládania podvozku**

Systém automatického ovládania znižuje psychickú záťaž pilota tým, že neustále monitoruje a aj ovláda podvozok. Pri správnej pilotáži a bezporuchovej činnosti systému pilot len kontroluje správnu funkciu systému. Na ovládanie podvozku potrebuje pilot len jedno stlačenie tlačidla pri určení hranice letu a pristávania. Táto voľba sa uskutoční ešte pred samotným priblížením sa k najkritickejšej fáze pristávania v blízkosti zeme. V tejto fáze pristávania sa pilot môže plne venovať riadeniu letúna a na úkony spojené s vysunutím podvozkom nemusí myslieť.

Okrem pristávacej fáze systém asistuje pilotovi v každom režime letu, počas celej prevádzky letúna. Od okamihu naštartovania až po pristátie a vypnutie motora systém neustále podporuje celkovú bezpečnosť posádky a súčasne aj bezpečnosť konštrukcie letúna. Systém dokáže rozpoznať viacero kritických režimov spôsobené buď poruchou alebo nebezpečnou nezodpovednou pilotážou. Systém pri zistení kritických režimov komunikuje s pilotom a výrazne ho na ne upozorňuje. Zároveň od pilota očakáva správnu reakciu a nápravu kritického režimu na bezpečný. V prípade, ak pilot nezasiahne správne, systém automaticky chráni pilota aj letún správnym zásahom podvozku ak to podmienky umožňujú pre daný kritický režim.

Systém automatického ovládania podvozku je navrhnutý len ako podporný systém pre ovládanie zaťažovacieho podvozku a pre zvýšenie celkovej bezpečnosti malých letúnov. Popri tomto systéme ostáva stále zachované tradičné ručné (aj núdzové) ovládanie podvozku, ktoré je nadradené automatickému. Týmto sa stále zachoval pilot ako hlavná autorita ovládajúca podvozok. Pridaním ďalšieho spôsobu ovládania podvozku sa zvýšila bezpečnosť aj spoľahlivosť letúna a zároveň sa znížila psychická záťaž pilota spojená s ovládaním podvozku.



## **10. ZÁVER**

V prvej časti diplomovej práce boli navrhnuté 3 koncepčné varianty zaťahovania pre predný podvozok a 6 variant pre podvozok hlavný, pričom 2 varianty zaťahovania hlavného podvozku sú pre túto kategóriu letúna netradičné. Pre každú z navrhovaných variant boli spracované ilustratívne obrázky na ktorých boli ilustrované výhody, nevýhody, nutné úpravy v konštrukcii draku letúna a tiež možné problematické oblasti, ktorým by bolo nutné pri ďalšom návrhu venovať zvýšenú pozornosť. Tento rozbor môže v budúcnosti slúžiť ako podklad pre ďalšie, detailnejšie, konštrukčné návrhy. Táto časť práce bola využitá aj pri spracovaní grantu Leteckého ústavu týkajúceho sa návrhu zaťahovacieho podvozku pre letún Rapid 600 a bola spracovaná vo forme správy LU22-2010-JA6.DE.

V druhej časti práce bol navrhnutý systém automatického ovládania podvozku. Pri návrhu jednotlivých funkcií systému sa vychádzalo z požiadavky uľahčiť pilotovi prácu tým, že podvozok je monitorovaný a ovládaný automaticky. Týmto opatrením by malo dôjsť k zníženiu počtu havárií spôsobených nevysunutým zaťahovacím podvozkom, najmä elimináciou chyby ľudského faktoru. Funkcie navrhnutého systému môžu byť pri ďalšom vývoji rozšírené napríklad spoluprácou z podobnými automatickými systémami v ďalších oblastiach ovládania letúna a tým ešte viac prispieť k bezpečnosti malých letúnov v kategóriách UL, CS-VLA a LSA. Aj táto časť diplomovej práce bola spracovaná vo forme správy LU23-2010-JA6.SY pre grant Leteckého ústavu.

Predstavené riešenia zaťahovania podvozku ako aj automatického systému zaťahovania majú koncepčný charakter a môžu byť podkladom pre ďalší vývoj, či už vo firme Jihlavan Airplanes alebo v podobe ďalších diplomových (bakalárskych) prác na Leteckom ústave.

## 11. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] ŠULŽENKO, M.N. *Konstrukce letadel*. 2. opravené vydání. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1954. 420 s. DT629.13.
- [2] PÁVEK, JOSEF. *Konstrukce a projektování letadel II*. Praha : Ediční středisko ČVUT, 1984. 240 s.
- [3] PAZMANY, Ladislao. *Aircraft Landing Gear Design For Light Aircraft : Volume I*. FIRST EDITION. San diego, Calif. : Pazmany aircraft Corporation, 1986. 245 s. ISBN 0-9616777-0-8.
- [4] Skyleader [online]. 2010 [cit. 2010-05-21]. Skyleader 600 Technical Data. Dostupné z WWW: <[www.skyleader.aero](http://www.skyleader.aero)>.
- [5] FINSTERLE, Max. *Technický popis letounu JA-600 : TECHNICAL DESCRIPTION OF JA-600 AIRPLANE*. Jihlava : Jihlavan airplanes, 2007. 3 s. J.a.-03-24-09-2007.
- [6] Jihlavan Airplanes: 3D CAD model letounu JA-600 Rapid
- [7] Jihlavan Airplanes: výkresy podvozku letúna KP-2U Sova
- [8] FINSTERLE, Max. *Hmotnostní rozbor a odhad centrází JA-600 Rapid*. Jihlava : Jihlavan airplanes, 2008. 10 s. JA01-2008-JA6-W.
- [9] JUREČKA, Radek. *Zatížení a pevnostní kontrola podvozku JA 600- Rapid*. revize č.:02. Jihlava : Jihlavan airplanes, 2009. 62 s. JA14-2008-JA6.L.
- [10] *Certifikační specifikace pro velmi lehké letouny : CS-VLA*. Brusel : Evropská agentura pro bezpečnost letectví, 2003. 166 s.
- [11] FAR Part 23 Airplanes Airworthiness Standards: Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Category Airplanes. Federal Aviation Administration, Washington D.C., [www.faa.gov](http://www.faa.gov), 7/2002
- [12] Advisory Circular AC 23.1309-1C: Equipment, Systems, and Installations in Part 23 Airplanes. Federal Aviation Administration, Washington D.C., [www.faa.gov](http://www.faa.gov), 3/1999, 30 str.
- [13] ARP 4761 Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment, SAE Warrendale USA, 12/1996, 331 str.
- [14] KOLMANN, Petr. *Premiéra Skyleaderu 600. L+K letectví + kozmonautika*. červen 2009, 6, s. 4. Dostupný také z WWW: <[http://www.skyleader.aero/en/download/pr/2009\\_05\\_l&k\\_cz.pdf](http://www.skyleader.aero/en/download/pr/2009_05_l&k_cz.pdf)>.

## 12. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

| Použité skratky                |                                                                                                           |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Skratka                        | Popis skratky                                                                                             |
| <b>LAA</b>                     | letecká amatérska asociácia                                                                               |
| <b>IAS</b>                     | indicated air speed, indikovaná vzdušná rýchlosť                                                          |
| <b>UL 2</b>                    | letecký predpis pre ultraľahké letúny v českej republike                                                  |
| <b>LSA</b>                     | light sport aircraft, letecký predpis                                                                     |
| <b>CS-VLA</b>                  | certification specifications for very light aeroplanes, letecký predpis                                   |
| <b>CS-23</b>                   | certification specifications, letecký predpis                                                             |
| <b>GA(W)-1-17%<br/>LS-0417</b> | označenie leteckého leteckého profilu krídla                                                              |
| <b>GA(W)-2-13%<br/>LS-0413</b> | označenie leteckého leteckého profilu krídla                                                              |
| <b>KP-2U</b>                   | označenie letúna                                                                                          |
| <b>ZRT</b>                     | základná rovina trupu                                                                                     |
| <b>CATIA</b>                   | Computer-Graphics Aided Three Dimensional Interactive Application program pre 3D počítačové konštruovanie |
| <b>3D</b>                      | trojdimenzionálny                                                                                         |
| <b>T</b>                       | ťažisko                                                                                                   |
| <b>SAT</b>                     | stredná aerodynamická tetiva krídla                                                                       |
| <b>CFD</b>                     | Computational Fluid Dynamics, počítačovo riešená dynamika tekutín                                         |

Tab. 12.1 Použité skratky

## 13. ZOZNAM SYMBOLOV A INDEXOV

| Použité v kapitole                            | Použité symboly |                     |                                                            |
|-----------------------------------------------|-----------------|---------------------|------------------------------------------------------------|
|                                               | Symbol          | Jednotka            | Popis symbolu                                              |
| 7.<br>Zaťaženie podvozku                      | x               | [m]                 | súradnica v smere pohybu letúna                            |
|                                               | y               | [m]                 | súradnica v smere krídla                                   |
|                                               | z               | [m]                 | súradnica v smere tiaže a vztlaku                          |
|                                               | V               | [N]                 | vertikálna sila zaťažujúca podvozok                        |
|                                               | D               | [N]                 | horizontálna sila zaťažujúca podvozok                      |
|                                               | S               | [N]                 | bočná sila zaťažujúca podvozok                             |
|                                               | L               | [N]                 | vztlaková sila vyvozená krídlami                           |
|                                               | G               | [N]                 | tiaž                                                       |
|                                               | v               | [ms <sup>-1</sup> ] | rýchlosť                                                   |
|                                               | m               | [kg]                | hmotnosť                                                   |
|                                               | S               | [m <sup>2</sup> ]   | plocha                                                     |
|                                               | g               | [ms <sup>-2</sup> ] | gravitačné zrýchlenie                                      |
|                                               | h               | [m]                 | veľkosť dráhy stlačenia                                    |
|                                               | η               | [-]                 | súčiniteľ účinnosti tlmenia                                |
|                                               | n               | [-]                 | násobok                                                    |
|                                               | E               | [J]                 | energia                                                    |
|                                               | F               | [N]                 | sila                                                       |
|                                               | A               | [N]                 | sila                                                       |
|                                               | φ               | [°]                 | uhol sklonených reakcii pri pristávaní                     |
|                                               | a               | [m]                 | vzdialenosť predného bodu dotyku so zemou a ťažiska letúna |
|                                               | b               | [m]                 | vzdialenosť hlavného bodu dotyku so zemou a ťažiska letúna |
| 9.<br>Systém automatického ovládania podvozku | K <sub>n</sub>  | [-]                 | koeficient daný predpisom CS-VLA                           |
|                                               | K               | [-]                 | koeficient bezpečnosti                                     |
|                                               | f               | [-]                 | súčiniteľ                                                  |
|                                               | H               | [m]                 | výška                                                      |
|                                               | v               | [ms <sup>-1</sup> ] | rýchlosť                                                   |
|                                               | R               | [-]                 | rolovanie                                                  |
|                                               | V               | [-]                 | vzlet                                                      |
|                                               | L               | [-]                 | let                                                        |
|                                               | P               | [-]                 | pristávanie                                                |

Tab. 13.1 Použité symboly

| Použité v kapitole       | Použité indexy |                                                                                                 |
|--------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | Index          | Popis indexu                                                                                    |
| 7.<br>Zaťaženie podvozku | p              | predný podvozok                                                                                 |
|                          | h              | hlavný podvozok                                                                                 |
|                          | B              | bočný vietor                                                                                    |
|                          | Br             | brzdzenie                                                                                       |
|                          | D              | dodatočnom zaťažení                                                                             |
|                          | 21,5%          | hodnoty vzťahujúce sa k 21,5% centrácii letúna                                                  |
|                          | 24,6%          | hodnoty vzťahujúce sa k 24,6% centrácii letúna                                                  |
|                          | T              | hodnoty vzťahujúce sa k ťažisku letúna                                                          |
|                          | kl             | klesavá                                                                                         |
|                          | PN             | pneumatika                                                                                      |
|                          | TL             | tlmič                                                                                           |
|                          | ef             | efektívna                                                                                       |
|                          | Pr             | prevádzkový                                                                                     |
|                          | Pri            | pristávanie                                                                                     |
|                          | k              | kinetický                                                                                       |
|                          | p              | potenciálny                                                                                     |
|                          | pod            | podvozková noha                                                                                 |
|                          | z              | hodnoty vzťahujúce sa k z-ovej súradnici, smeru                                                 |
|                          | 1P             | hodnoty vzťahujúca sa na jednu podvozkovú nohu hlavného podvozku                                |
|                          | jedno          | hodnoty vzťahujúca sa na jednu podvozkovú nohu hlavného podvozku pri pristávaní na jedno koleso |
|                          | 1              | hodnoty vzťahujúca sa na jednu podvozkovú nohu hlavného podvozku pri pristávaní v bočnom vetre  |
|                          | 2              | hodnoty vzťahujúca sa na jednu podvozkovú nohu hlavného podvozku pri pristávaní v bočnom vetre  |
|                          | tr             | hodnoty vzťahujúce sa k treniu                                                                  |
|                          | /              | hodnoty vzťahujúca k vodorovnému pristávaniu                                                    |
|                          | //             | hodnoty vzťahujúca k pristávaniu s predným kolesom tesne nad zemou                              |
|                          | ///            | hodnoty vzťahujúca k pristávaniu s veľkým uhlom nábehu                                          |
|                          | zađu           | hodnoty vzťahujúce sa k smeru dozadu                                                            |
|                          | predu          | hodnoty vzťahujúce sa k smeru dopredu                                                           |
|                          | bočné          | bočné zaťaženie                                                                                 |
|                          | poč            | výpočtové zaťaženie                                                                             |
|                          | dnu            | smer pôsobenia k osy symetrie letúna                                                            |
|                          | von            | smer pôsobenia od osy symetrie letúna                                                           |
| 9.<br>Ovládanie podvozku | 1              | dolná hranica vymedzujúci interval výšky                                                        |
|                          | 2              | horná hranica vymedzujúci interval výšky                                                        |

Tab. 13.2 Použité indexy

## 14. ZOZNAM OBRÁZKOV

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 3.1 Interiér a prvý let letúna Rapid 600 [5] .....                          | 10 |
| Obr. 3.2 Oficiálne predstavenie letúna Rapid 600 [14] .....                      | 10 |
| Obr. 3.3 Muška letúna Rapid 600 .....                                            | 11 |
| Obr. 3.4 Pevný podvozok letúna Rapid 600 .....                                   | 13 |
| Obr. 3.5 Predná podvozková noha .....                                            | 13 |
| Obr. 3.6 Hlavná podvozková noha .....                                            | 13 |
| Obr. 4.1 Základné druhy podvozkov .....                                          | 14 |
| Obr. 5.1 Úrovně zatiahnutia podvozku .....                                       | 17 |
| Obr. 5.2 Základné druhy ťažovania predného kolesa .....                          | 18 |
| Obr. 5.3 Vyosenie prednej podvozovej nohy .....                                  | 19 |
| Obr. 5.4 Zatiahnutie predného podvozku dopredu .....                             | 19 |
| Obr. 5.5 Zatiahnutie predného podvozku dozadu .....                              | 20 |
| Obr. 5.6 Posun predného podvozku dopredu, .....                                  | 20 |
| Obr. 5.7 Navrhnuté rozšírenie motorových lôžok .....                             | 21 |
| Obr. 5.8 Zástavba rozšírených motorových lôžok .....                             | 22 |
| Obr. 5.9 Rozšírené motorové lôžka s motorom .....                                | 22 |
| Obr. 5.10 Zatiahnutie predného podvozku posunutého dopredu .....                 | 23 |
| Obr. 5.11 Základné druhy ťažovania hlavného podvozku .....                       | 25 |
| Obr. 5.12 Poskladaný hlavný podvozok medzi nosníky centroplánu .....             | 26 |
| Obr. 5.13 Zatiahnutie hlavného podvozku dozadu .....                             | 26 |
| Obr. 5.14 Posun dozadu a zatiahnutie hlavného podvozku dozadu [7] .....          | 27 |
| Obr. 5.15 Zatiahnutie hlavného podvozku do konštrukcie centroplánu .....         | 27 |
| Obr. 5.16 Zatiahnutie hlavného podvozku do konštrukcie krídla .....              | 28 |
| Obr. 5.17 Poskladaný podvozok pomocou jednej zlomenej vzpery .....               | 28 |
| Obr. 5.18 Návrh krytu pre pevnú časť podvozku .....                              | 29 |
| Obr. 5.19 Poskladaný podvozok s jednou zlomenou vzperou, 2. konštrukcia .....    | 29 |
| Obr. 5.20 Nutné úpravy konštrukcie pre poskladaný podvozku .....                 | 30 |
| Obr. 5.21 Kinematika ťažovania poskladaného podvozku .....                       | 30 |
| Obr. 5.22 Poskladaný podvozok pomocou dvoch zlomených vzpier .....               | 31 |
| Obr. 5.23 Návrh krytu pre hornú otočnú časť podvozku .....                       | 32 |
| Obr. 5.24 Nutné úpravy konštrukcie podvozku s dvoma zlomenými vzperami .....     | 32 |
| Obr. 6.1 Výška podvozku [7] .....                                                | 35 |
| Obr. 6.2 Geometria podvozku .....                                                | 35 |
| Obr. 6.3 Zatiahnutý podvozok .....                                               | 35 |
| Obr. 7.1 Sily pôsobiace na podvozok .....                                        | 36 |
| Obr. 7.2 Poloha ťažiska letúna .....                                             | 37 |
| Obr. 7.3 Geometria podvozku voči ťažisku letúna .....                            | 37 |
| Obr. 7.4 Ťaženie podvozku pri státí na zemi .....                                | 39 |
| Obr. 7.5 Ťaženie podvozku pri pristávaní so sklonenými reakciami .....           | 40 |
| Obr. 7.6 Ťaženie podvozku pri pristávaní s predným kolesom tesne nad zemou ..... | 41 |
| Obr. 7.7 Ťaženie podvozku pri pristávaní s veľkým uhlom nábehu .....             | 42 |
| Obr. 7.8 Ťaženie podvozku pri pristávaní na jedno koleso .....                   | 43 |
| Obr. 7.9 Ťaženie podvozku pri pristávaní v bočnom vetre .....                    | 44 |
| Obr. 7.10 Ťaženie podvozku pri brzdení .....                                     | 44 |
| Obr. 7.11 Dodatočné ťaženie predného kolesa .....                                | 45 |
| Obr. 8.1 Princíp činnosti ručného ovládania podvozku .....                       | 48 |
| Obr. 8.2 Signalizácia podvozku pre ručné ovládanie .....                         | 49 |

---

## ZOZNAM OBRÁZKOV

---

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 8.3 Charakteristické body pre automatické ovládanie podvozku .....   | 49 |
| Obr. 8.4 Vzlet s automatickým zasunutím podvozku .....                    | 51 |
| Obr. 8.5 Let so zisťovaním výšky nad zemou .....                          | 51 |
| Obr. 8.6 Pristávanie s automatickým vysunutím podvozku .....              | 52 |
| Obr. 8.7 Popis prístroja .....                                            | 52 |
| Obr. 8.8 Zapnutý prístroj .....                                           | 52 |
| Obr. 8.9 zmena automaticky rozpoznávaných režimov .....                   | 53 |
| Obr. 8.10 Voľba režimov pilotom .....                                     | 53 |
| Obr. 8.11 Informovanie pilota o automatickom ovládaní podvozku .....      | 53 |
| Obr. 8.12 Varovanie pred kritickým režimom .....                          | 53 |
| Obr. 8.13 Umiestnenie prístroja na palubnej doske .....                   | 54 |
| Obr. 8.14 Voľba režimu pre pristávanie .....                              | 54 |
| Obr. 8.15 Princíp činnosti systému automatického ovládania podvozku ..... | 55 |
| Obr. 8.16 Princíp činnosti núdzového ovládania podvozku .....             | 56 |
| Obr. 8.17 Celková schéma ovládania podvozku .....                         | 57 |



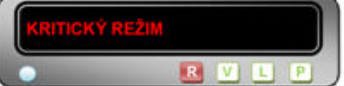
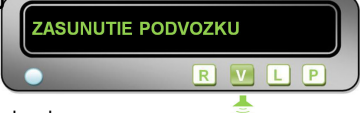
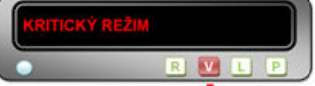
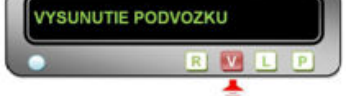
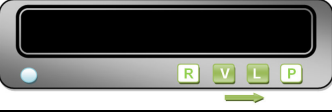
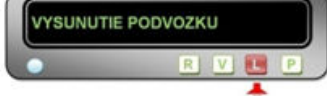
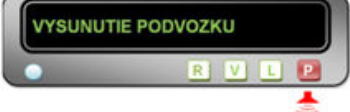
## 15. ZOZNAM TABULIEK

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 3.1 Základné technické údaje letúna RAPID 600 [4], [5], [14].....     | 12 |
| Tab. 5.1 Dôsledok posunutia predného podvozku dopredu .....                | 21 |
| Tab. 5.2 Súhrn rozboru predného podvozku .....                             | 24 |
| Tab. 5.3 Súhrn rozboru hlavného podvozku .....                             | 33 |
| Tab. 7.1 Sily zaťažujúce podvozok .....                                    | 36 |
| Tab. 7.2 Konfigurácia centrží pre výpočet zaťaženia .....                  | 37 |
| Tab. 7.3 Súhrn zaťaženia hlavného podvozku pre jednu podvozkovú nohu ..... | 46 |
| Tab. 7.4 Rozhodujúce prípady zaťaženia pre hlavný podvozok.....            | 47 |
| Tab. 7.5 Súhrn zaťaženia predného podvozku .....                           | 47 |
| Tab. 7.6 Rozhodujúce prípady zaťaženia pre predný podvozok .....           | 47 |
| Tab. 8.1 Predbežný návrh parametrov systému .....                          | 49 |
| Tab. 12.1 Použité skratky.....                                             | 61 |
| Tab. 13.1 Použité symboly.....                                             | 62 |
| Tab. 13.2 Použité indexy.....                                              | 63 |
| Tab. 16.1 Zoznam príloh .....                                              | 66 |

## 16. ZOZNAM PRÍLOH

| Označenie prílohy | Názov prílohy                                   |
|-------------------|-------------------------------------------------|
| Príloha 1         | Rozbor činností systému automatického ovládania |
| Príloha 2         | Analýza kritických režimov                      |
| Príloha 3         | Výpočet zaťaženia podvozku vo formáte MS Excel  |

Tab. 16.1 Zoznam príloh

| Príloha 1: Rozbor činnosti systému automatického ovládania podvozku |                                                                                                                                                       |                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Režim                                                               | Snímané a vyhodnocované hodnoty                                                                                                                       | Popis funkcie                                                                                             | Činnosť systému v nekritickom režime                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Činnosť systému v kritickom režime                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Štart / Rolovanie                                                   | Stlačenie tlmíčov.<br>Výška nad zemou.                                                                                                                | Rozpoznanie, že sa letún nachádza na zemi<br>Pri naštartovaní letúna automaticky sa systém zapne.         | Modrým tlmeným svetlom sa rozsvieti vypínacie tlačidlo.<br>Zeleným tlmeným nerušivým svetlom svieti tlačidlo oznamujúce rozpoznanie a správnu činnosť systému pri režime rolovanie, nečinný displej, žiadne zvukové upozornenie.<br>                                                                                                                                                                                                          | Pilot po naštartovaní pohľadom kontroluje činnosť systému.<br>V prípade, ak sa tlačidlo pre rolovanie nerozsvieti zelenou farbou automaticky, stlačí tlačidlo ručne. Ak ani potom nezačne svietiť = porucha rozpoznania rolovania, strata funkcií, pilot ovláda podvozok ručne.<br>Doporučene odloženie plánovaného letu.<br>Oprava systému.<br>                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Rolovanie                                                           | BITE<br>Stlačenie tlmíčov<br>Výška nad zemou<br>Monitorovanie zámkov podvozku vo vysunutom stave.                                                     | Diagnostika systému.                                                                                      | Zeleným tlmeným nerušivým svetlom svieti tlačidlo oznamujúce rozpoznanie a správnu činnosť systému pri režime rolovanie, nečinný displej, žiadne zvukové upozornenie.<br>                                                                                                                                                                                                                                                                     | Červené blikajúce tlačidlo pre režim rolovanie oznamujúce kritický režim. Na displeji sa vypíše zistený kritický režim, viď. príloha 2: Analýza kritických režimov. Zvukové upozornenie prerušovaným tónom.<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | V režime rolovania sa zablokuje ovládanie zasunutia podvozku a otvorenia zámkov vo vysunutom stave.       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Zamedzenie samovoľnému otvoreniu zámku vo vysunutej polohe.                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Rolovanie / Vzlet                                                   | Stlačenie tlmíčov<br>Výška nad vzletovou dráhou.                                                                                                      | Rozpoznanie okamihu odpútania sa od zeme.<br>Hranica medzi funkciami systému režimov rolovania a vzletom. | Zelené tlmené nerušivé svetlo svieti na tlačidle oznamujúce rozpoznanie a správnu činnosť systému pri režime rolovania prejde na tlačidlo pre vzlet, nečinný displej, žiadne zvukové upozornenie.<br>                                                                                                                                                                                                                                        | Pilot po odpútaní sa od zeme pohľadom kontroluje činnosť systému. V prípade, ak sa tlačidlo pre vzlet nerozsvieti zelenou farbou automaticky, stlačí tlačidlo ručne. Ak ani potom nezačne svietiť= porucha rozpoznania vzletu, strata funkcií vo vzletovom režime, pilot ovláda zasunutie podvozku ručne.<br>Doporučene odloženie plánovaného letu, oprava systému.<br>                                                                                                                                                                                                                               |
| Vzlet                                                               | Výška nad zemou.<br>Rýchlosť letúna.<br>Monitorovanie polohy vztlakových klapiek.<br>Monitorovanie zámkov podvozku vo vysunutom stave.                | Monitorovanie bezpečného vzletu.                                                                          | Zeleným tlmeným nerušivým svetlom svieti tlačidlo oznamujúce správnu činnosť systému pri režime vzlet, nečinný displej, žiadne zvukové upozornenie. Jedine pred zasunutím podvozku systém informuje pilota, že sa podvozok automaticky zasunie vypísaním: <b>ZASUNUTIE PODVOZKU</b> a súčasne sa vyšle aj tón informujúci zasunutie podvozku.<br><br>  | Červené blikajúce tlačidlo pre režim vzlet oznamujúce kritický režim. Na displeji sa vypíše zistený kritický režim, viď. príloha 2: Analýza kritických režimov. Zvukové upozornenie prerušovaným tónom. Systém čaká na správnu korekciu od pilota. Ak korekcia nenastane systém automaticky nezasunie podvozok, ale nechá ho vysunutý. Ak sa letún už nachádza v časti vzletu po zasunutí podvozku opätovne vysunie podvozok a informuje o tom aj pilota ak nehrozí pádová rýchlosť a ak $V < V_{LE}$ .<br><br> |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Monitorovanie maximálnej neprekročiteľnej rýchlosti pre zasunutie podvozku.                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Automatické zasunutie podvozku.                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Sledovanie uzamknutia zámkov v zasunutej polohe podvozku.                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Monitorovanie maximálnej rýchlosti pre vztlakové klapky v polohe pre vzlet.                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Monitorovanie pádovej rýchlosti bez a so vztlakovými klapkami vo vzletovej polohe.                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Vzlet / Let                                                         | Výška nad zemou.<br>Rýchlosť letúna.                                                                                                                  | Rozpoznanie okamihu režimu let.<br>Hranica medzi funkciami systému režimov vzletu a letu.                 | Zelené tlmené nerušivé svetlo svieti na tlačidle oznamujúce rozpoznanie a správnu činnosť systému pri režime rolovanie prejde na tlačidlo pre vzlet, nečinný displej, žiadne zvukové upozornenie.<br>                                                                                                                                                                                                                                       | Pilot po dosiahnutí výšky pre režim let pohľadom kontroluje činnosť systému. V prípade, ak sa tlačidlo pre let nerozsvieti zelenou farbou automaticky, stlačí tlačidlo ručne. Ak ani potom nezačne svietiť= porucha rozpoznania režimu let. Strata funkcií v letovom režime. Ovládanie podvozku ručne.<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Let                                                                 | Výška nad zemou.<br>Rýchlosť letúna.<br>Monitorovanie zámkov podvozku v zasunutom stave.                                                              | Sledovanie uzamknutia podvozku v zasunutej polohe.                                                        | Zeleným tlmeným nerušivým svetlom svieti tlačidlo oznamujúce správnu činnosť systému pri režime let, nečinný displej, žiadne zvukové upozornenie<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Červené blikajúce tlačidlo pre režim let oznamujúce kritický režim. Na displeji sa vypíše zistený kritický režim, viď. príloha 2: Analýza kritických režimov. Zvukové upozornenie prerušovaným tónom. Systém čaká na správnu korekciu od pilota. Ak korekcia nenastane systém automaticky vysunie podvozok ak nehrozí pádová rýchlosť a ak $V < V_{LE}$ a informuje o tom pilota.<br><br>                                                                                                                       |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Monitorovanie bezpečnej výšky letu nad zemou.                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Monitorovanie pádovej rýchlosti bez klapiek.                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Monitorovanie maximálnej neprekročiteľnej rýchlosti.                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Let / Pristávanie                                                   | Hranicu medzi letom a pristávaním pilot určuje ručne.                                                                                                 | Určenie okamihu režimu let.<br>Hranica medzi funkciami systému režimov vzletu a letu.                     | Zelené tlmené nerušivé svetlo svieti na tlačidle oznamujúce rozpoznanie a správnu činnosť systému pri režime let prejde na tlačidlo pre rolovanie, nečinný displej, žiadne zvukové upozornenie.<br>                                                                                                                                                                                                                                         | Pilot po stlačení tlačidla pre režim let pohľadom kontroluje činnosť systému. V prípade, ak sa tlačidlo pre let nerozsvieti zelenou farbou po jeho stlačení = porucha rozpoznania režimu let, pilot ovláda vysunutie podvozku ručne.<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Pristávanie                                                         | Výška nad zemou.<br>Rýchlosť letúna.<br>Monitorovanie polohy vztlakových klapiek .<br>Monitorovanie zámkov podvozku vo vysunutom stave.               | Monitorovanie bezpečného pristávania.                                                                     | Zeleným tlmeným nerušivým svetlom svieti tlačidlo oznamujúce správnu činnosť systému pri režime vzlet, nečinný displej, žiadne zvukové upozornenie. Jedine pred vysunutím podvozku systém informuje pilota, že sa podvozok automaticky vysunie vypísaním: <b>VYSUNUTIE PODVOZKU</b> a súčasne sa vyšle aj tón informujúci o vysunutí podvozku.<br><br> | Červené blikajúce tlačidlo pre režim vzlet oznamujúce kritický režim. Na displeji sa vypíše zistený kritický režim, viď. príloha 2: Analýza kritických režimov. Zvukové upozornenie prerušovaným tónom. Systém čaká na správnu korekciu od pilota. Ak korekcia nenastane systém automaticky vysunie podvozok ak je ak $V < V_{LE}$ a ak už nie je vysunutý a ak nehrozí pádová rýchlosť a informuje o tom pilota.<br><br>                                                                                       |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Monitorovanie maximálnej neprekročiteľnej rýchlosti pre vysunutie podvozku.                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Automatické vysunutie podvozku.                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Sledovanie uzamknutia zámkov v vysunutej polohe podvozku.                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                     |                                                                                                                                                       | Monitorovanie maximálnej rýchlosti pre vztlakové klapky v polohe pre vzlet a pristávanie.                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Pristávanie/ Rolovanie                                              | Stlačenie tlmíčov<br>Výška nad vzletovou dráhou väčšia ako poloha umiestnenia modulu snímania výšky na letúne + rezerva v prípade nadskočenia letúna. | Rozpoznanie okamihu dotyku so zemou.<br>Hranica medzi funkciami systému režimov rolovania a vzletom.      | Zelené tlmené nerušivé svetlo svieti na tlačidle oznamujúce rozpoznanie a správnu činnosť systému pri režime rolovanie prejde na tlačidlo pre vzlet, nečinný displej, žiadne zvukové upozornenie.<br>                                                                                                                                                                                                                                       | Pilot po dosadnutí na zem pohľadom kontroluje činnosť systému. V prípade, ak sa tlačidlo pre rolovanie nerozsvieti zelenou farbou automaticky, stlačí tlačidlo ručne. Ak ani potom nezačne svietiť= porucha rozpoznania rolovania, strata funkcií v rolovacom režime. V prípade zamknutého vysunutého podvozku nehrozí kritický režim, ale má informatívny charakter. Oprava poruchy.<br>                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                     |                                                                                                                                                       |                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

| Príloha 2: Analýza kritických režimov, strana 2/1 |                                                                             |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Režim                                             | Popis funkcie                                                               | Popis kritického režimu                                                                                                                            | Dôsledok kritického režimu                                                                                                                                                                  | Reakcia systému                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Reakcia pilota                                                                                                                                                                                    |
| Rolovanie                                         | Kontrola systému.                                                           | Pri diagnostike systému zistená chyba v sústave.                                                                                                   | Strata funkcie systému.                                                                                                                                                                     | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>CHYBA SYSTÉMU.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Pilot ovláda podvozok ručne. Doporučene odložiť let a oprava systému.                                                                                                                             |
|                                                   | Sledovanie uzamknutia podvozku.                                             | Samovoľné uvoľnenie zámku vytiahnutého predného podvozku.                                                                                          | Hrozba nárazu letúnu so zemou, poškodenie konštrukcie a katastrofickej udalosti.                                                                                                            | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PREDNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Pilot zastaví letún. Oprava zámkov vo vysunutom stave.                                                                                                                                            |
|                                                   |                                                                             | Samovoľné uvoľnenie zámku pravého hlavného vytiahnutého podvozku.                                                                                  | Hrozba nárazu letúnu so zemou, poškodenie konštrukcie a katastrofickej udalosti.                                                                                                            | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PRAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Pilot zastaví letún. Oprava zámkov vo vysunutom stave.                                                                                                                                            |
|                                                   |                                                                             | Samovoľné uvoľnenie zámku ľavého hlavného vytiahnutého podvozku.                                                                                   | Hrozba nárazu letúnu so zemou, poškodenie konštrukcie a katastrofickej udalosti.                                                                                                            | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ ĽAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Pilot zastaví letún. Oprava zámkov vo vysunutom stave.                                                                                                                                            |
|                                                   |                                                                             | Samovoľné uvoľnenie zámkov vytiahnutého podvozku dvoch alebo troch podvozkových nôh.                                                               | Hrozba nárazu letúnu so zemou, poškodenie konštrukcie a katastrofickej udalosti.                                                                                                            | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Pilot zastaví letún. Oprava zámkov vo vysunutom stave.                                                                                                                                            |
| Rolovanie / Vzlet                                 | Rozpoznanie okamihu opútania sa od zeme.                                    | Systém nerozpozná hranice režimu rolovania a vzletu.                                                                                               | Strata funkcií systému vo vzletovom režime. Hlavná hrozba: Automatické nezasunutie podvozku.                                                                                                | Aj po odpútaní letúna od vzletovej dráhy neustále svieti tlačidlo označujúce režim: rolovanie. Nedôjde k rozsvietení tlačidla pre vzlet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Pilot po odpútaní sa od zeme pohľadom kontroluje činnosť systému. Stlačí tlačidlo pre vzlet. V prípade, ak sa tlačidlo nerozsvieti zelenou farbou = porucha systému. Pilot ovláda podvozok ručne. |
| Vzlet                                             | Monitorovanie bezpečného vzletu.                                            | Vybočenie z nastaveného intervalu pre výšku.                                                                                                       | Letún vzlieta pod nebezpečnou krivkou vzletu, hrozba zatiahnutia podvozku v nevhodnom okamihu.                                                                                              | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NÍZKA VÝŠKA LETU PRE DANÚ FÁZU VZLETU. / VYSOKÁ VÝŠKA LETU PRE DANÚ FÁZU VZLETU.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok alebo nevysunie v závislosti na tom v ktorej časti vzletu sa letún nachádza, ak $V < V_{LE}$                                                                                                                                             | Korekcia letu: upravenie výšky podľa pokynov systému.                                                                                                                                             |
|                                                   |                                                                             | Vybočenie z nastaveného intervalu pre rýchlosť.                                                                                                    | Letún vzlieta pod nebezpečnou krivkou vzletu, hrozba zatiahnutia podvozku v nevhodnom okamihu.                                                                                              | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NÍZKA RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ VÝŠKU LETU. / VYSOKÁ RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ VÝŠKU LETU.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok alebo nevysunie v závislosti na tom v ktorej časti vzletu sa letún nachádza, ak $V < V_{LE}$                                                                                                                                         | Korekcia letu: upravenie rýchlosti podľa pokynov systému.                                                                                                                                         |
|                                                   |                                                                             | Vybočenie z nastaveného intervalu pre výšku aj rýchlosť.                                                                                           | Letún vzlieta pod nebezpečnou krivkou vzletu, hrozba zatiahnutia podvozku v nevhodnom okamihu.                                                                                              | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NÍZKA VÝŠKA A RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ FÁZU VZLETU. / VYSOKÁ VÝŠKA A RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ FÁZU VZLETU. / NÍZKA VÝŠKA A VYSOKÁ RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ FÁZU VZLETU. / VYSOKÁ VÝŠKA A NÍZKA RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ FÁZU VZLETU.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok alebo nevysunie v závislosti na tom v ktorej časti vzletu sa letún nachádza, ak $V < V_{LE}$ | Korekcia letu: upravenie výšky aj rýchlosti podľa pokynov systému.                                                                                                                                |
|                                                   | Automatické zasunutie podvozku.                                             | Automatické nezasunutie predného podvozku.                                                                                                         | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristík.                                                                                                                                      | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>PREDNÝ PODVOZOK SA NEZASUNUL.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Zasunutie podvozku ručnou pákou.                                                                                                                                                                  |
|                                                   |                                                                             | Automatické nezasunutie pravého hlavného podvozku.                                                                                                 | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristík.                                                                                                                                      | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>PRAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK SA NEZASUNUL.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Zasunutie podvozku ručnou pákou.                                                                                                                                                                  |
|                                                   |                                                                             | Automatické nezasunutie ľavého hlavného podvozku.                                                                                                  | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristík.                                                                                                                                      | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>ĽAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK SA NEZASUNUL.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Zasunutie podvozku ručnou pákou.                                                                                                                                                                  |
|                                                   |                                                                             | Automatické nezasunutie podvozku dvoch alebo troch podvozkových nôh.                                                                               | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristík.                                                                                                                                      | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>PODVOZOK SA NEZASUNUL.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Zasunutie podvozku ručnou pákou.                                                                                                                                                                  |
|                                                   |                                                                             | Nezaistený predný podvozok.                                                                                                                        | Let s vysunutým podvozkom.                                                                                                                                                                  | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PREDNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Pokus o zaistenie predného podvozku ručnou pákou alebo pákou pre núdzové ovládanie podvozku. V prípade nezdaru doporučené prerušiť let vrátiť sa vytiahnuť podvozok a pristávať. Oprava.          |
|                                                   |                                                                             | Nezaistený pravý hlavný podvozok.                                                                                                                  | Let s vysunutým podvozkom.                                                                                                                                                                  | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PRAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Pokus o zaistenie predného podvozku ručnou pákou alebo pákou pre núdzové ovládanie podvozku. V prípade nezdaru doporučené prerušiť let vrátiť sa vytiahnuť podvozok a pristávať. Oprava.          |
|                                                   |                                                                             | Nezaistený ľavý hlavný podvozok.                                                                                                                   | Let s vysunutým podvozkom.                                                                                                                                                                  | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ ĽAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Pokus o zaistenie predného podvozku ručnou pákou alebo pákou pre núdzové ovládanie podvozku. V prípade nezdaru doporučené prerušiť let vrátiť sa vytiahnuť podvozok a pristávať. Oprava.          |
|                                                   |                                                                             | Nezasunutie podvozku dvoch alebo troch podvozkových nôh.                                                                                           | Let s vysunutým podvozkom.                                                                                                                                                                  | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Pokus o zaistenie predného podvozku ručnou pákou alebo pákou pre núdzové ovládanie podvozku. V prípade nezdaru doporučené prerušiť let vrátiť sa vytiahnuť podvozok a pristávať. Oprava.          |
|                                                   | Sledovanie uzamknutia podvozku.                                             | Samovoľné uvoľnenie zámku zatiahnutého predného podvozku.                                                                                          | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristík.                                                                                                                                      | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PREDNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Pilot ručne zaistí uvoľnený podvozok. Čo najskoršie pristane na zem. Oprava zámkom v zasunutom stave.                                                                                             |
|                                                   |                                                                             | Samovoľné uvoľnenie zámku pravého hlavného zatiahnutého podvozku.                                                                                  | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristík.                                                                                                                                      | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PRAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Pilot ručne zaistí uvoľnený podvozok. Čo najskoršie pristane na zem. Oprava zámkom v zasunutom stave.                                                                                             |
|                                                   |                                                                             | Samovoľné uvoľnenie zámku ľavého hlavného vytiahnutého podvozku.                                                                                   | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristík.                                                                                                                                      | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ ĽAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Pilot ručne zaistí uvoľnený podvozok. Čo najskoršie pristane na zem. Oprava zámkom v zasunutom stave.                                                                                             |
|                                                   |                                                                             | Samovoľné uvoľnenie zámkov zatiahnutého podvozku dvoch alebo troch podvozkových nôh.                                                               | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristík.                                                                                                                                      | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Pilot ručne zaistí uvoľnený podvozok. Čo najskoršie pristane na zem. Oprava zámkov v zasunutom stave.                                                                                             |
|                                                   | Monitorovanie maximálnej rýchlosti pre zasunutie podvozku.                  | Nedosiahla sa výška na automatické zasunutie podvozku a zároveň a sa rýchlosť blíži k maximálnej neprekročiteľne rýchlosti pre zasunutie podvozku. | Tento prípad nemá charakter kritického režimu ohrozujúci bezpečnosť a konštrukciu podvozku pre letúny kategórie UL, CS-VLA, LSA vzhľadom na nízke rýchlosti. Služí pre informovanie pilota. | Oznam pilotovi: vypísanie na displej: <b>ZATIAHNUŤ PODVOZOK.</b><br><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok čím sa zvýši odpor a zníži rýchlosť letúna, ak $V < V_{LE}$ .                                                                                                                                                                                                                                                                   | Zvýšenie výšky pre automatické zasunutie podvozku, prípadne zníženie rýchlosti.                                                                                                                   |
|                                                   | Monitorovanie maximálnej rýchlosti pre vztlakové klapky v polohe pre vzlet. | Dosiahnutie maximálnej rýchlosti z vysunutými vztlakovými klapkami v polohe pre vzlet.                                                             | Prekročenie návrhového zaťaženia konštrukcie vztlakových klapiek letúna.                                                                                                                    | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej. <b>DOSIAHNUTIE MAXIMÁLNEJ RÝCHLOSTI PRE KLAPKY.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok ak $V < V_{LE}$ alebo sa nevysunie v závislosti na tom v ktorej časti vzletu sa letún nachádza.                                                                                                                                                                              | Korekcia letu znížením rýchlosti.                                                                                                                                                                 |
|                                                   | Monitorovanie pádovej rýchlosti.                                            | Dosiahnutie pádovej rýchlosti bez vztlakových klapiek.                                                                                             | Hrozba pádu, nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                                                                                                     | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej. <b>DOSIAHNUTIE PÁDOVEJ RÝCHLOSTI.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota systém zvýši rýchlosť znížením odporu automatickým zasunutím podvozku ak je podvozok ešte stále vysunutý.                                                                                                                                                                                                                  | Korekcia letu zvýšením rýchlosti.                                                                                                                                                                 |
|                                                   |                                                                             | Dosiahnutie pádovej rýchlosti so vztlakovými klapkami v polohe pre vzlet.                                                                          | Hrozba pádu, nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                                                                                                     | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej. <b>DOSIAHNUTIE PÁDOVEJ RÝCHLOSTI.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota systém zvýši rýchlosť znížením odporu automatickým zasunutím podvozku ak je podvozok ešte stále vysunutý.                                                                                                                                                                                                                  | Korekcia letu zvýšením rýchlosti.                                                                                                                                                                 |
| Vzlet / Let                                       | Rozpoznanie okamihu začatia letu.                                           | Systém nerozpozná hranice režimu vzletu a letu. Porucha snímačov rýchlosti alebo výšky.                                                            | Strata funkcií systému v režime: let.                                                                                                                                                       | Aj po dosiahnutí režimu let neustále svieti tlačidlo označujúce režim vzlet. Nedôjde k rozsvietení tlačidla pre let.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Pilot po dosadnutí režimu: let pohľadom kontroluje činnosť systému. Stlačí tlačidlo pre let. V prípade, ak sa tlačidlo nerozsvieti zelenou farbou = porucha systému.                              |

| Príloha 2: Analýza kritických režimov, strana 2/2 |                                                         |                                                                                              |                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Režim                                             | Popis funkcie                                           | Popis kritického režimu                                                                      | Dôsledok kritického režimu                                                                                                                | Reakcia systému                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Reakcia pilota                                                                                                                                                                                                         |
| Let                                               | Sledovanie uzamknutia podvozku.                         | Samovoľné uvoľnenie zámku zatiahnutého predného podvozku.                                    | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristik.                                                                                    | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PREDNÝ PODVOZOK.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie a pilota sa automaticky vysunie podvozok,                                                                                                                                                                                                                                    | Pilot ručne zaistí uvoľnený podvozok, alebo ho vysunie. Čo najskoršie pristane na zem. Oprava zámkov v zasunutom stave.                                                                                                |
|                                                   |                                                         | Samovoľné uvoľnenie zámku pravého hlavného zatiahnutého podvozku.                            | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristik.                                                                                    | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PRAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok, ak $V < V_{LE}$ .                                                                                                                                                                                                              | Pilot ručne zaistí uvoľnený podvozok, alebo ho vysunie. Čo najskoršie pristane na zem. Oprava zámkov v zasunutom stave.                                                                                                |
|                                                   |                                                         | Samovoľné uvoľnenie zámku ľavého hlavného vytiahnutého podvozku.                             | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristik.                                                                                    | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ ĽAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok., ak $V < V_{LE}$ .                                                                                                                                                                                                              | Pilot ručne zaistí uvoľnený podvozok, alebo ho vysunie. Čo najskoršie pristane na zem. Oprava zámkov v zasunutom stave                                                                                                 |
|                                                   |                                                         | Samovoľné uvoľnenie zámkov zatiahnutého podvozku dvoch alebo troch podvozkových nŕh.         | Zvýšenie odporu letúna. Zmena letových charakteristik.                                                                                    | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PODVOZOK.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok, ak $V < V_{LE}$ .                                                                                                                                                                                                                           | Pilot ručne zaistí uvoľnený podvozok. Čo najskoršie pristane na zem. Oprava zámkov v zasunutom stave.                                                                                                                  |
|                                                   | Monitorovanie výšky letu nad zemou.                     | Nízky let nad zemou.                                                                         | Hrozba nárazu a katastrofickej udalosti.                                                                                                  | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEDOSTATOČNÁ VÝŠKA LETU.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok, ak $V < V_{LE}$                                                                                                                                                                                                                         | Korekcia letu zvýšením výšky .                                                                                                                                                                                         |
|                                                   | Monitorovanie pádovej rýchlosti.                        | Dosiahnutie pádovej rýchlosti bez vztlakových klapiek.                                       | Hrozba pádu, nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                                                   | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej. <b>DOSIAHNUTIE PÁDOVEJ RÝCHLOSTI.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky zablokuje možnosť vysunutia podvozku po dobu trvania hrozby pre ochranu pred prípadný znížením rýchlosti nárastom odporu od vysunutého podvozku.                                                                                                    | Korekcia letu zvýšením rýchlosti.                                                                                                                                                                                      |
|                                                   | Monitorovanie maximálnej bezpečného rýchlosti.          | Dosiahnutie maximálnej neprekročiteľnej rýchlosti.                                           | Prekročenie maximálnej výpočtovej rýchlosti, na ktorú je letún dimenzovaný. Hrozba porušenia konštrukcie, pádu a katastrofickej udalosti. | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>DOSIAHNUTIE MAXIMÁLNEJ NEPREKROČITEĽNEJ RÝCHLOSTI.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Korekcia letu znížením rýchlosti.                                                                                                                                                                                      |
| Let / Pristávanie                                 | Rozpoznanie okamihu konca letu.                         | Systém po pilotovej voľbe nerozpozná hranicu režimu letu a pristávania.                      | Strata funkcií systému v režime: pristávanie. Hlavná hrozba: automatické nevysunutie podvozku                                             | Aj po dosiahnutí režimu pristávanie neustále svieti tlačidlo označujúce režim let. Nedôjde k rozsvietení tlačidla pre pristávanie.                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Pilot pohľadom kontroluje činnosť systému. Stlačí tlačidlo pre pristávanie. V prípade, ak sa tlačidlo nerozsvieti zelenou farbou = porucha systému. Pilot ovláda podvozok ručne.                                       |
| Pristávanie                                       | Monitorovanie pristávania.                              | Vybočenie z nastaveného intervalu pre výšku.                                                 | Letún pristáva pod nebezpečnou krivkou pristávanie, hrozba vysunutia podvozku v nevhodnom okamihu.                                        | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NÍZKA VÝŠKA LETU PRE DANÚ FÁZU PRISTÁVANIA. / VYSOKÁ VÝŠKA LETU PRE DANÚ FÁZU PRISTÁVANIA.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok, ak $V < V_{LE}$ .                                                                                                                                                     | Korekcia letu: upravenie výšky podľa pokynov systému.                                                                                                                                                                  |
|                                                   |                                                         | Vybočenie z nastaveného intervalu pre rýchlosť.                                              | Letún pristáva pod nebezpečnou krivkou pristávanie, hrozba vysunutia podvozku v nevhodnom okamihu.                                        | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej. <b>NÍZKA RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ VÝŠKU PRISTÁVANIA. / VYSOKÁ RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ VÝŠKU PRISTÁVANIA.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok, ak $V < V_{LE}$ .                                                                                                                                             | Korekcia letu: upravenie rýchlosti podľa pokynov systému.                                                                                                                                                              |
|                                                   |                                                         | Vybočenie z nastaveného intervalu pre výšku aj rýchlosť.                                     | Letún pristáva pod nebezpečnou krivkou pristávanie, hrozba vysunutia podvozku v nevhodnom okamihu.                                        | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej. <b>NÍZKA VÝŠKA A RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ FÁZU PRISTÁVANIA. / VYSOKÁ VÝŠKA A RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ FÁZU PRISTÁVANIA. / NÍZKA VÝŠKA A VYSOKÁ RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ FÁZU PRISTÁVANIA. / VYSOKÁ VÝŠKA A NÍZKA RÝCHLOSŤ LETU PRE DANÚ FÁZU PRISTÁVANIA.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok, ak $V < V_{LE}$ | Korekcia letu: upravenie výšky aj rýchlosti podľa pokynov systému.                                                                                                                                                     |
|                                                   | Automatické vysunutie podvozku.                         | Automatické nezasunutie predného podvozku.                                                   | Hrozba nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                                                         | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>PREDNÝ PODVOZOK SA NEVYSUNUL.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Prerušenie pristávacieho manévru. Vysunutie podvozku ručnou pákou alebo pákou pre núdzové ovládanie podvozku.                                                                                                          |
|                                                   |                                                         | Automatické nezasunutie pravého hlavného podvozku.                                           | Hrozba nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                                                         | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>PRAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK SA NEVYSUNUL.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Prerušenie pristávacieho manévru. Vysunutie podvozku ručnou pákou alebo pákou pre núdzové ovládanie podvozku.                                                                                                          |
|                                                   |                                                         | Automatické nezasunutie ľavého hlavného podvozku.                                            | Hrozba nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                                                         | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>ĽAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK SA NEVYSUNUL.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Prerušenie pristávacieho manévru. Vysunutie podvozku ručnou pákou alebo pákou pre núdzové ovládanie podvozku.                                                                                                          |
|                                                   |                                                         | Automatické nevysunutie dvoch alebo troch podvozkových nŕh..                                 | Hrozba nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                                                         | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>PODVOZOK SA NEVYSUNUL.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Prerušenie pristávacieho manévru. Vysunutie podvozku ručnou pákou alebo pákou pre núdzové ovládanie podvozku.                                                                                                          |
|                                                   |                                                         | Nezaistený predný podvozok.                                                                  | Hrozba pristávania z nezaisteným podvozkom nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                     | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PREDNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Prerušenie pristávacieho manévru. Pokus o zaistenie podvozku ručnou pákou alebo pákou pre núdzové ovládanie podvozku. V prípade nezdaru doporučené: zatiahnuť podvozok a núdzovo pristávať so zatiahnutým podvozkom.   |
|                                                   |                                                         | Nezaistený pravý hlavný podvozok.                                                            | Hrozba pristávania z nezaisteným podvozkom nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                     | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PRAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Prerušenie pristávacieho manévru. Pokus o zaistenie podvozku ručnou pákou alebo pákou pre núdzové ovládanie podvozku. V prípade nezdaru doporučené: zatiahnuť podvozok a núdzovo pristávať so zatiahnutým podvozkom.   |
|                                                   |                                                         | Nezaistený ľavý hlavný podvozok.                                                             | Hrozba pristávania z nezaisteným podvozkom nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                     | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ ĽAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Prerušenie pristávacieho manévru. Pokus o zaistenie podvozku ručnou pákou alebo pákou pre núdzové ovládanie podvozku. V prípade nezdaru doporučené: zatiahnuť podvozok a núdzovo pristávať so zatiahnutým podvozkom. . |
|                                                   | Sledovanie uzamknutia podvozku.                         | Samovoľné uvoľnenie zámku vytiahnutého predného podvozku.                                    | Hrozba nárazu letúnu so zemou, poškodenie konštrukcie a katastrofickej udalosti.                                                          | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PREDNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Pilot preruší pristávací manéver ,pokúsi sa uzamknúť podvozok ručne. V prípade nezdaru ručne zatiahne podvozok a pripraví sa na núdzové pristávanie so zatiahnutým podvozkom. Oprava zámkov vo vysunutom stave.        |
|                                                   |                                                         | Samovoľné uvoľnenie zámku vytiahnutého pravého hlavného podvozku.                            | Hrozba nárazu letúnu so zemou, poškodenie konštrukcie a katastrofickej udalosti.                                                          | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PRAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Pilot preruší pristávací manéver ,pokúsi sa uzamknúť podvozok ručne. V prípade nezdaru ručne zatiahne podvozok a pripraví sa na núdzové pristávanie so zatiahnutým podvozkom. Oprava zámkov vo vysunutom stave.        |
|                                                   |                                                         | Samovoľné uvoľnenie zámku vytiahnutého podvozku ľavého hlavného.                             | Hrozba nárazu letúnu so zemou, poškodenie konštrukcie a katastrofickej udalosti.                                                          | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ ĽAVÝ HLAVNÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Pilot preruší pristávací manéver ,pokúsi sa uzamknúť podvozok ručne. V prípade nezdaru ručne zatiahne podvozok a pripraví sa na núdzové pristávanie so zatiahnutým podvozkom. Oprava zámkov vo vysunutom stave         |
|                                                   |                                                         | Samovoľné uvoľnenie zámkov vytiahnutého podvozku dvoch alebo troch podvozkových nŕh.         | Hrozba nárazu letúnu so zemou, poškodenie konštrukcie a katastrofickej udalosti.                                                          | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej: <b>NEZAISTENÝ PODVOZOK.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Pilot preruší pristávací manéver ,pokúsi sa uzamknúť podvozok ručne. V prípade nezdaru ručne zatiahne podvozok a pripraví sa na núdzové pristávanie so zatiahnutým podvozkom. Oprava zámkov vo vysunutom stave.        |
|                                                   | Monitorovanie maximálnej rýchlosti pre vztlakové klapky | Dosiahnutie maximálnej rýchlosti z vysunutými vztlakovými klapkami v polohe pre vzlet.       | Prekročenie návrhového zaťaženia konštrukcie vztlakových klapiek letúna.                                                                  | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej. <b>DOSIAHNUTIE MAXIMÁLNEJ RÝCHLOSTI PRE KLAPKY.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok čím sa zväčši odpor letúna a zníži rýchlosť, ak $V < V_{LE}$ .                                                                                                                                                       | Korekcia letu znížením rýchlosti.                                                                                                                                                                                      |
|                                                   |                                                         | Dosiahnutie maximálnej rýchlosti z vysunutými vztlakovými klapkami v polohe pre pristávanie. | Prekročenie návrhového zaťaženia konštrukcie vztlakových klapiek letúna.                                                                  | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej. <b>DOSIAHNUTIE MAXIMÁLNEJ RÝCHLOSTI PRE KLAPKY.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky vysunie podvozok čím sa zväčši odpor letúna a zníži rýchlosť, ak $V < V_{LE}$ .                                                                                                                                                       | Korekcia letu znížením rýchlosti.                                                                                                                                                                                      |
|                                                   | Monitorovanie pádovej rýchlosti.                        | Dosiahnutie pádovej rýchlosti bez vztlakových klapiek.                                       | Hrozba pádu, nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                                                   | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej. <b>DOSIAHNUTIE PÁDOVEJ RÝCHLOSTI.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky zablokuje možnosť vysunutia podvozku po dobu trvania hrozby pre ochranu pred prípadný znížením rýchlosti nárastom odporu od vysunutého podvozku.                                                                                                    | Korekcia letu zvýšením rýchlosti.                                                                                                                                                                                      |
|                                                   |                                                         | Dosiahnutie pádovej rýchlosti so vztlakovými klapkami v polohe pre vzlet.                    | Hrozba pádu, nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                                                   | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej. <b>DOSIAHNUTIE PÁDOVEJ RÝCHLOSTI.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky zablokuje možnosť vysunutia podvozku po dobu trvania hrozby pre ochranu pred prípadný znížením rýchlosti nárastom odporu od vysunutého podvozku.                                                                                                    | Korekcia letu zvýšením rýchlosti.                                                                                                                                                                                      |
|                                                   |                                                         | Dosiahnutie pádovej rýchlosti so vztlakovými klapkami v polohe pre pristávanie.              | Hrozba pádu, nárazu so zemou a katastrofickej udalosti.                                                                                   | Svetelné a zvukové upozornenie vypísanie zistenej chyby na displej. <b>DOSIAHNUTIE PÁDOVEJ RÝCHLOSTI.</b><br>V prípade nesprávnej reakcie pilota sa automaticky zablokuje možnosť vysunutia podvozku po dobu trvania hrozby pre ochranu pred prípadný znížením rýchlosti nárastom odporu od vysunutého podvozku.                                                                                                    | Korekcia letu zvýšením rýchlosti.                                                                                                                                                                                      |
| Pristávanie/ Rolovanie                            | Rozpoznanie okamihu dotyku so zemou.                    | Systém nerozpozná hranice režimu pristávania a rolovania. Porucha snímačov v tlimiči.        | Strata funkcií systému v režime: rolovanie.                                                                                               | Aj po dosadnutí letúna na pristávaciu dráhu neustále svieti tlačidlo označujúce režim: pristávanie. Nedôjde k rozsvietení tlačidla pre rolovanie. Ak je podvozok bezpečne uzamknutý vo vysunutom stave tento stav je len informovaním pilota.                                                                                                                                                                       | Pilot po dosadnutí pohľadom kontroluje činnosť systému. Stlačí tlačidlo pre rolovanie. V prípade, ak sa tlačidlo nerozsvieti zelenou farbou = porucha systému. Oprava.                                                 |