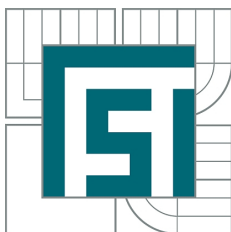


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

NÁVRH PODVOZKU VUT200 TWINCOBRA DESIGN OF VUT200 TWINCOBRA LANDING GEAR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JOSEF NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KATRŇÁK

BRNO 2015

Ponechána bílá strana.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Josef Novák

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Letecký provoz (3708T011)**

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 VUT200 TwinCobra

v anglickém jazyce:

Design of VUT200 TwinCobra landing gear

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte uspořádání a konstrukční řešení hlavního podvozku dvoumotorového letounu VUT200 TwinCobra – variantní studie zatahování do centroplánu (jako VUT100 Cobra) nebo do motorových gondol.

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce je navržení variant zatahování hlavního podvozku pro dvoumotorový letoun VUT200 TwinCobra. Z rozpracovaných variant zatahování podvozku do centroplánu a do motorových gondol bude vybráno výsledné konstrukční řešení a to dále detailně rozpracováno. Budou stanoveny požadavky předpisu CS-23 a proveden základní pevnostní výpočet hlavního podvozku.

Seznam odborné literatury:

- [1] MERTL, V.: Konstrukce a projektování letadel, VUT-FSI, 2000
- [2] DANĚK, V.: Projektování letadel, VUT-FSI, 2000
- [3] Letecký předpis CS-23
- [4] Firemní literatura a podklady zejména z Jihlavan Aeroplanes
- [5] Další literaturu dle doporučení vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Katrňák

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 24.11.2014

L.S.

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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Hlavním cílem diplomové práce je návrh variant konstrukčního řešení uspořádání a zatahování hlavního podvozku letounu VUT200 TwinCobra. Pro každou variantu je určen rozvor respektive rozchod podvozkových noh v závislosti na poloze hlavního podvozku, která je volena vzhledem k možnostem zatažení podvozku do draku letounu. Pro vybranou variantu jsou sledovány další cíle diplomové práce - určení případů zatížení při přistání podle požadavků předpisu CS 23 a pevnostní analýza dílců podvozkové nohy. Součástí práce je přehled zatahování podvozků srovnatelných letounů.

Summary

The goal of following master thesis is to design variety of configuration and retraction options of VUT200 TwinCobra landing gear. For each option are a wheel base and a gauge set up by possibility of main landing gear retraction. Next, CS 23 demands and stress analysis are followed. There is a view of twin engine aircraft landing gear disclosed as well.

Klíčová slova

přistávací zařízení, hlavní podvozek, příďový podvozek, podvozková noha, VUT100, VUT200, zatahování podvozku

Keywords

landing gear, main landing gear, nose landing gear, landing gear leg, VUT100, VUT200, landing gear retraction

NOVÁK, J. *Návrh podvozku VUT200 TwinCobra*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 126 s. Vedoucí Ing. Tomáš Katrňák.

Ponechána bílá strana.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně za použití uvedených zdrojů a s využitím konzultací k tomu účelu vedených.

Bc. Josef Novák

Ponechána bílá strana.

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Tomáši Katrňákovi za vedení, rady a odbornou pomoc. Rovněž bych rád poděkoval pracovníkům Leteckého ústavu, kteří mi svojí radou nebo jinou pomocí přispěli k vypracování práce, pánům Ing. Uríkovi, Ph.D., Ing. Schořovi a doc. Hlinkovi. Děkuji za poskytnutá data a čas věnovaný konzultacím s diplomovou prací zaměstnancům společnosti Evektor pánům Ing. Sejbalovi, Ing. Drštičkovi a Ing. Loutockému. V neposlední řadě bych rád poděkoval svým rodičům, kteří mi byli oporou v době celého studia.

Bc. Josef Novák

Ponechána bílá strana.

Obsah

Úvod	13
1 Přistávací zařízení	15
1.1 Konstrukční uspořádání přistávacího zařízení	15
1.1.1 Tříbodové PZ se záďovým podvozkem	15
1.1.2 Tříbodové PZ s příďovým podvozkem	16
1.2 Požadavky na přistávací zařízení	17
1.3 Omezení přistávacího zařízení	17
1.4 Základní části podvozku	17
2 Zatahování podvozku	21
2.1 Požadavky na podvozek	21
2.2 Způsob zatahování podvozku	21
2.3 Konstrukce mechanismu	22
2.4 Pohon mechanismu	23
2.5 Zatahování podvozku vybraných letounů	23
2.5.1 Cessna 310/320	23
2.5.2 Piper PA-23 Apache/Aztec	25
2.5.3 Piper PA-30/39 Twin Comanche	26
2.5.4 Piper PA-34 Seneca	28
2.5.5 Diamond DA-42 Twin Star	29
2.5.6 VUT100 Cobra	30
2.5.7 VUT200 TwinCobra	31
3 Zatahování hlavního podvozku podélně po směru letu	35
3.1 Uspořádání 1	35
3.1.1 Poloha těžiště motoru	35
3.1.2 Varianta konstrukčního řešení 1	36
3.1.3 Varianta konstrukčního řešení 2	44
3.2 Uspořádání 2	46
3.2.1 Varianta konstrukčního řešení 3	46
3.2.2 Varianta konstrukčního řešení 4	48
4 Zatahování hlavního podvozku podélně proti směru letu	51
4.1 Uspořádání 3	51
4.1.1 Varianta konstrukčního řešení 5	51
4.1.2 Varianta konstrukčního řešení 6	52
4.2 Uspořádání 4	53
4.2.1 Varianta konstrukčního řešení 7	54
4.2.2 Varianta konstrukčního řešení 8	55
5 Zatahování hlavního podvozku příčně	57
5.1 Uspořádání 5	57

6	Výběr varianty konstrukčního řešení	61
7	Pozemní zatížení	65
7.1	Podmínky a předpoklady pozemního zatížení (CS 23.473)	65
7.2	Zatížení při stání na zemi	68
7.3	Zatížení při vodorovném přistání se skloněnými reakcemi	69
7.4	Zatížení při vodorovném přistání s příďovým kolem těsně nad zemí	72
7.5	Zatížení při přistání s velkým úhlem podélného sklonu	72
7.6	Zatížení při přistání na jednu podvozkovou nohu	73
7.7	Boční zatížení	73
7.8	Zatížení při brzdění	74
7.9	Dodatečné zatížení příďového podvozku	74
7.10	Přehled pozemního zatížení	76
8	Pevnostní výpočet hlavního podvozku	77
8.1	Idealizace výpočtu	77
8.2	Vidlice	77
8.2.1	Výpočet reakcí	78
8.2.2	Průběh VVÚ	78
8.2.3	Kontrola vybraného místa	79
8.2.4	Řešení MKP	80
8.2.5	Návrh na úpravu vidlice	81
8.3	Tělo nohy (válec)	84
8.3.1	Zatížení válce	84
8.3.2	Reakce zlomovací vzpěry	84
8.3.3	Průběh VVÚ	85
8.3.4	Řešení MKP	86
8.3.5	Návrh na úpravu válce	87
	Závěr	89
	Seznam použitých zkratk a symbolů	90
	Seznam obrázků	97
	Seznam tabulek	100
	Literatura	101
	Příloha 1: Poloha těžiště	106
	Příloha 2: VUT200 - finální varianta uspořádání PZ	122
	Příloha 3: Hlavní podvozková noha VUT200	124
	Příloha 4: MKP modely	126

Úvod

Cílem předkládané diplomové práce je variantní návrh uspořádání a konstrukčního řešení způsobu zatahování hlavního podvozku letounu VUT200 TwinCobra. Pro vybranou variantu zatahování je uveden výpočet pozemních případů zatížení podle předpisu CS-23 a pevnostní analýza dílců hlavního podvozku. Počáteční kapitoly poskytují stručný úvod do problematiky společně s rešerší zatahování podvozku srovnatelných letounů.

Každý návrh uspořádání přistávacího zařízení vychází buď z podmínky stability proti převrácení letounu při pojíždění anebo z podmínky podélné stability, která determinuje míru rozvoru respektive rozchodu podvozkových noh. V případě této diplomové práce je míra rozchodu záměrně volena v závislosti na okolní konstrukci draku letounu, společně s polohou hlavního podvozku vůči těžišti letounu je tak určující pro výpočet rozvoru. Každá z variantních poloh hlavního podvozku je diskutována vzhledem k zatáhnutí podvozku do draku letounu a to za předpokladu dodržení původní výškové polohy uložení nohy podle dokumentu [29] anebo za podmínky co nejlepššího zatažení hlavního podvozku.

Ačkoliv je diplomová práce závěrečným dílem studia oboru Letecký provoz¹, je její snahou navázat na ty předměty studia, které jsou společné s oborem Stavba letadel.

¹K oboru Letecký provoz se váže autorova semestrální práce *The PBN Concept overview*. [19]

Ponechána bílá strana.

1 Přistávací zařízení

Přistávací zařízení je částí draku, která zabezpečuje přistání, vzlet, pojíždění a stání letadla. Zařízení se obvykle sestává ze dvou či více podvozků, hlavního a vedlejšího, případně dalších pomocných. Tvoří tři až sedm procent celkové hmotnosti, dvě až čtyři procenta z celkové ceny letadla.

Přistávací zařízení při manévru přistání mění směr pohybu letounu ze sestupného klouzavého letu do dopředného pohybu podél VPD. Úlohou hlavního podvozku je převzetí a utlumení energie přistávacího rázu, další pak vyrovnávání nerovností povrchu dráhy při pojíždění. Jestliže podvozek splňuje první úlohu, téměř vždy je splněna i ta druhá. U přistávacího zařízení s vedlejším příďovým podvozkem vznikají největší síly na příďovém podvozků při dosednutí a následném brzdění kol hlavního podvozku. Úlohou příďového podvozku je tyto síly pohltit a utlumit je. Příďový podvozek se podílí na směrovém řízení letounu a tvoří nezbytnou oporu při pozemním pohybu a stání. [3, 22, 23]

1.1 Konstrukční uspořádání přistávacího zařízení

Během dosavadního vývoje byla vyvinuta řada konstrukčních uspořádání přistávacího zařízení. Od pionýrských začátků v podobě lidského běhu přes pokusy s katapulty a odhazovacími vozíky se vývoj ustálil v podobě nejpoužívanějších třibodových přistávacích zařízení. Konstrukce stále větších a těžších letounů zapříčinila používání vícekolových podvozků, použití tandemového podvozku je řešením pro speciální požadavky zejména vojenských letounů.

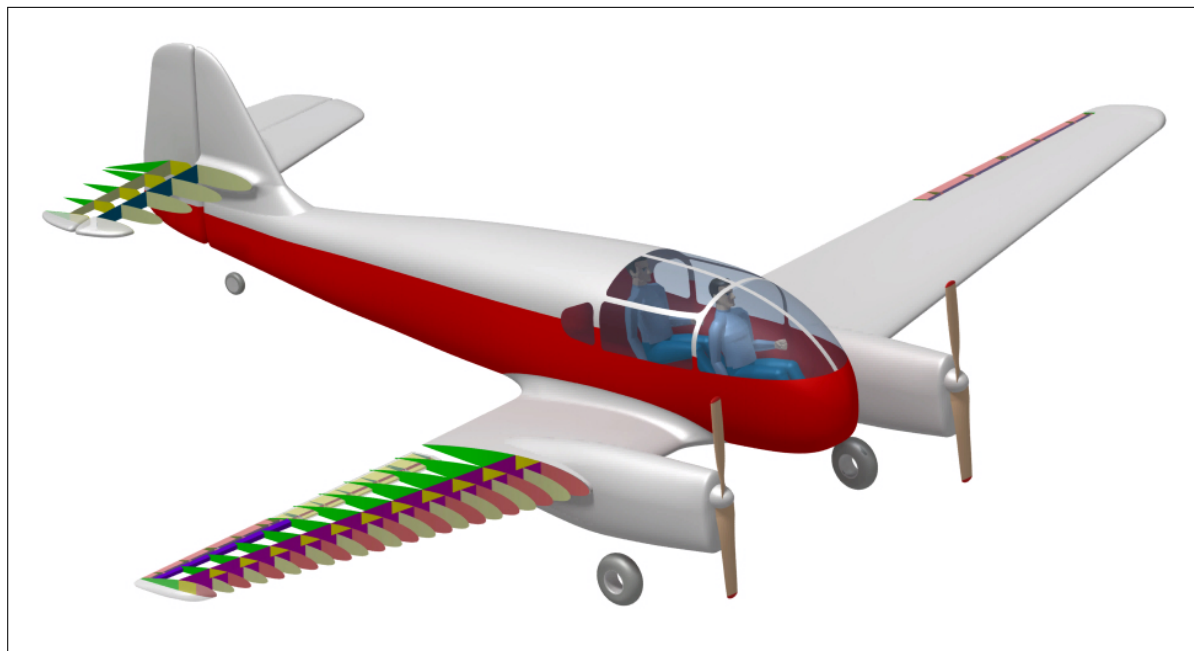
U třibodových přistávacích zařízení rozlišujeme konstrukci hlavního podvozku buď se záďovým (ostruhovým) podvozkem anebo s příďovým podvozkem. [2, 22]

1.1.1 Třibodové PZ se záďovým podvozkem

Přistávací zařízení se záďovým podvozkem bylo nejvíce rozšířeno v období První světové války. Letouny, které byly vybaveny tímto typem podvozku, měly většinou nízkou přistávací rychlost, nízkou hmotnost a rozměrnou vrtuli. Proto se lze s tímto podvozkem v současnosti setkat už jen na historických replikách, starších zemědělských a základních cvičných letounech. Doposud se ve větší míře používá na akrobatických letounech. Ostruhové kolo, které nahradilo počáteční lyži, je buď řízené anebo volně otočné. Může být malých rozměrů, protože přenáší pouze šest až 15 procent zatížení. Podvozek je díky nízkým rychlostem většinou pevný, což přispívá k jednoduchosti konstrukce a nízké hmotnosti přistávacího zařízení. Mezi další výhody tohoto uspořádání patří jednoduchá konstrukce hlavního podvozku většinou s listovou pružinou, vysoký podíl vztlakové síly při přistávacím rázu dovoluje právě nízkou přistávací rychlost.

Nevýhodou je náročná pilotáž a možnost překlopení „na hlavu“ při vysokém instalovaném výkonu a účinných brzdách nejenom při brzdícím manévru, ale i při manévru přistání, kdy síla potřebná k roztočení kol znamená obdobné nebezpečí. Čím je letoun větší a těžší, tím je toto nebezpečí vyšší. Největší nevýhodou tohoto uspořádání přistávacího zařízení je směrová nestabilita během pohybu na zemi. Dojde-li během pojíždění

k vychýlení těžiště z podélné osy letounu, je tato destabilizační výchylka vlivem polohy těžiště nadále zvyšována. V krajní situaci zejména na nepevných površích může dojít k roztočení letounu kolem jeho svislé osy. [2, 6, 16, 22]



Obrázek 1.1: PZ se zádovým podvozkem je vybaveno Aero Ae-45 z konce 40. let

1.1.2 Tříbodové PZ s přídovým podvozkem

Soudobě s výše uvedeným přistávacím zařízením se zádovým podvozkem se začalo užívat i přistávací zařízení s přídovým podvozkem. Zejména díky zvyšujícím se rychlostem na letounech převažuje až od Druhé světové války. Geometrie uspořádání podvozkových noh odstraňuje nedostatky uspořádání se zádovým podvozkem, výslednice sil při vychýlení těžiště z podélné osy letounu má stabilizační účinek. Převrácení letounu „na hlavu“ v tomto případě uspořádání téměř nemůže nastat, naopak hrozí nebezpečí převrácení na zád a to při nesprávné nakládce nebo vykládce nákladních letadel¹. Pilotáž letounu s tímto podvozkem je rovněž výrazně snadnější. Poloha těžiště je blízko hlavního podvozku, na přídový podvozek tak spadá obdobný poměr zatížení jako na kolo zádového podvozku.

V porovnání s výhodami má toto uspořádání zanedbatelné nevýhody, kterými jsou zejména vyšší hmotnost, složitost, výrobní náklady, aerodynamický odpor a potíže se zavěšením přídové nohy u jednomotorových letounů. U přídového kola je nutno zamezit vzniku jeho bočního kmitání při pojíždění. Skutečnost, že porucha přídové nohy může znamenat vážnější nebezpečí než porucha zádového kola, je jedinou větší nevýhodou.

Při návrhu přistávacího zařízení s přídovým podvozkem se mezi geometrické návrhové parametry řadí rozchod, rozvor, vyložení a vyosení přídového podvozku, vyložení a úhel vyložení hlavního podvozku a úhly překlopení a postoje. [2, 16, 22, 26]

¹Během těchto operací může být použita dodatečná zádová vzpěra.

1.2 Požadavky na přistávací zařízení

Přistávací zařízení musí ideálně vyhovovat řadě požadavků. [15, 16, 22]

- Podle CS 23.925 (a) musí zajistit dostatečnou vzdálenost mezi vrtulí a zemí při statickém zatížení nejméně 180 mm. Tato vzdálenost musí být navýšena v souladu s nejnepříznivější kombinací hmotnosti a těžiště letounu (úplně vypuštěná kritická pneumatika s příslušnou podvozkovou nohou stlačenou na doraz).
- Musí zajistit bezpečnou stabilitu, řiditelnost a účinné brzdění letounu při provozu na zemi.
- Musí mít minimální hmotnost při dostatečné pevnosti, tuhosti, životnosti a spolehlivosti.
- Podvozek nemá výrazně měnit geometrii při plném propružení (zejména rozchod u pružinových podvozků - hrozí svlékání pneu).
- Podvozky mají mít opatření pro snadnou obsluhu a provoz na zemi.

1.3 Omezení přistávacího zařízení

Při konstrukci podvozku se musí uvažovat omezení v podobě času mezi opakovanými přistáními (chlazení brzd), tlaku v pneumatikách, zajištění dostatečné průchodnosti letounu a ekvivalentního zatížení jednoho kola (druh VPD) tak, aby tato konstrukční omezení podvozku znamenala co nejmenší vliv na provoz letounu. [16]

1.4 Základní části podvozku

Mezi základní části podvozku letounu patří podvozkové nohy, tlumiče, kola a instalace požadovaných soustav. [16]

Podvozkové nohy

Protože na podvozkovou nohu působí reakce přistávacích sil, musí být konstrukčně uspořádána tak, aby obsahovala části schopné tuto sílu pohltit a utlumit ji. Podle druhu a polohy tlumiče, který se společně s pneumatikou kola podílí na tlumení síly, rozlišujeme podvozkové nohy pružinové, teleskopické a s vlečeným kolem.

Pružinová podvozková noha pohlcuje přistávací energii vlastní deformací nohy, obvykle bývá obdélníkového průřezu z vysokopevnostní slitiny. Může být nazývána jako samonosná podvozková noha. Používá se na letounech do hmotnosti 4000 kg jak s příďovým tak se záďovým podvozkem. Mezi výhody patří jednoduchost, nízký odpor a nízká hmotnost. Nevýhodou je náchylnost na změnu geometrie nebo problematické uložení nohy v trupu.

Tělo teleskopické podvozkové nohy je tvořeno tlumičem, který je umístěn v její ose a tvoří tak hlavní nosnou část. Vlivem jeho polohy je docíleno nízké hmotnosti a kompaktnosti. Noha se jednoduše řídí a zatahuje, při vysunutí vytváří nižší přírůstek odporu.

Důsledkem krátkého ramena mezi koncem válce tlumiče a uchycení pístnice dochází k výskytu velkých zatížení, která způsobují ohybové deformace pístnice a nadměrné opotřebování těsnění kapalinového tlumiče. Zdvih tlumiče je omezen délkou podvozkové nohy, krátké podvozky tak mají limitovanou tuhost. Tuto nevýhodu odstraňuje pákové uložení kola. Toto uspořádání se někdy označuje jako polopákové, protože tlumič je stále nosnou částí nohy. Příčná zatížení (při pojíždění nebo přistání s bočním větrem) nohy nejsou dostatečně tlumena. Teleskopická noha se často užívá ve spojení s příďovým podvozkem.

Uspořádání s vlečeným kolem² odstraňuje nevýhodu v podobě omezení zdvihu tlumiče délkou podvozkové nohy. Tlumič je umístěn vně podvozkové nohy, v případě kloubového uložení na obou jeho koncích je zatížen pouze osovou silou. V některých případech může být horní konec tlumiče uložen přímo v konstrukci letounu. Nevýhodou je vyšší hmotnost, odpor a složitost při zasouvání. Přesto pákové uspořádání na hlavních podvozcích současných letounů převládá. [6, 9, 15, 16]

Tlumiče

Tlumič je nedílnou součástí podvozkové nohy. Plní funkci tlumící a pružící, protože část neutlumené energie se při zpátečním zdvihu vrací zpět do podvozku a projevuje se nežádoucím odskokem. Na velmi lehkých většinou dvoustupňových letounech je tlumič tvořen jednodílnou pružinou nebo je použit tlumič s gumovou nebo s kovovou vinutou pružinou. Těžší letouny jsou vybaveny hydromechanickými, pneumatickými nebo nejčastěji hydropneumatickými typy tlumičů. Podle vnitřního uspořádání lze nejčastěji používané hydropneumatické tlumiče rozlišovat na jednokomorové a dvukomorové. Tyto tlumiče mají nejvyšší účinnost, kdy dokáží pracovat až s 90 % přistávací energie. [16]

Kola

Podvozková kola jsou tvořena jednodílnými nebo dělenými disky (náboji) s ložisky a dušovými nebo bezdušovými pneumatikami. Disk i pneumatika jsou osvědčeny certifikátem pro použití v letectví (TSO) a nemusí se tak při návrhu podvozku ověřovat jejich pevnostní charakteristiky. Stejně jako tlumič i pneumatika přebírá část přistávací energie, zpravidla je tento podíl mezi 40 až 45 % celkové energie. Podle převažujících provozních podmínek povrchu letišť lze používat pneumatiky o různém tlaku huštění, pro nezpevněné dráhy se používají nízkotlaké pneumatiky a naopak³. Při přistávacím rázu je pneumatika stlačena až o 90 % výšky profilu, při statickém zatížení o 30 %. Plášť pneumatiky se skládá z pěti až šesti vrstev. Podle převažujících provozních podmínek mohou být podvozková kola doplněna nebo nahrazena lyžemi nebo plováky. [9, 16]

²Někdy jako pákové uspořádání.

³Pneumatiky se odlišují nejenom rozdílným tlakem huštění, ale i příčným průřezem udávaným jako poměr průměru pneumatiky a průměru výšky profilu. Nízkotlaké pneumatiky mají tento poměr nižší jak vysokotlaké (vysoký profil pneumatiky malého průměru).

Instalace požadovaných soustav

V závislosti na požadavcích a funkci může být podvozek vybaven několika soustavami. Nejčastěji se jedná o systémy brzdové, řízení a zatahování.

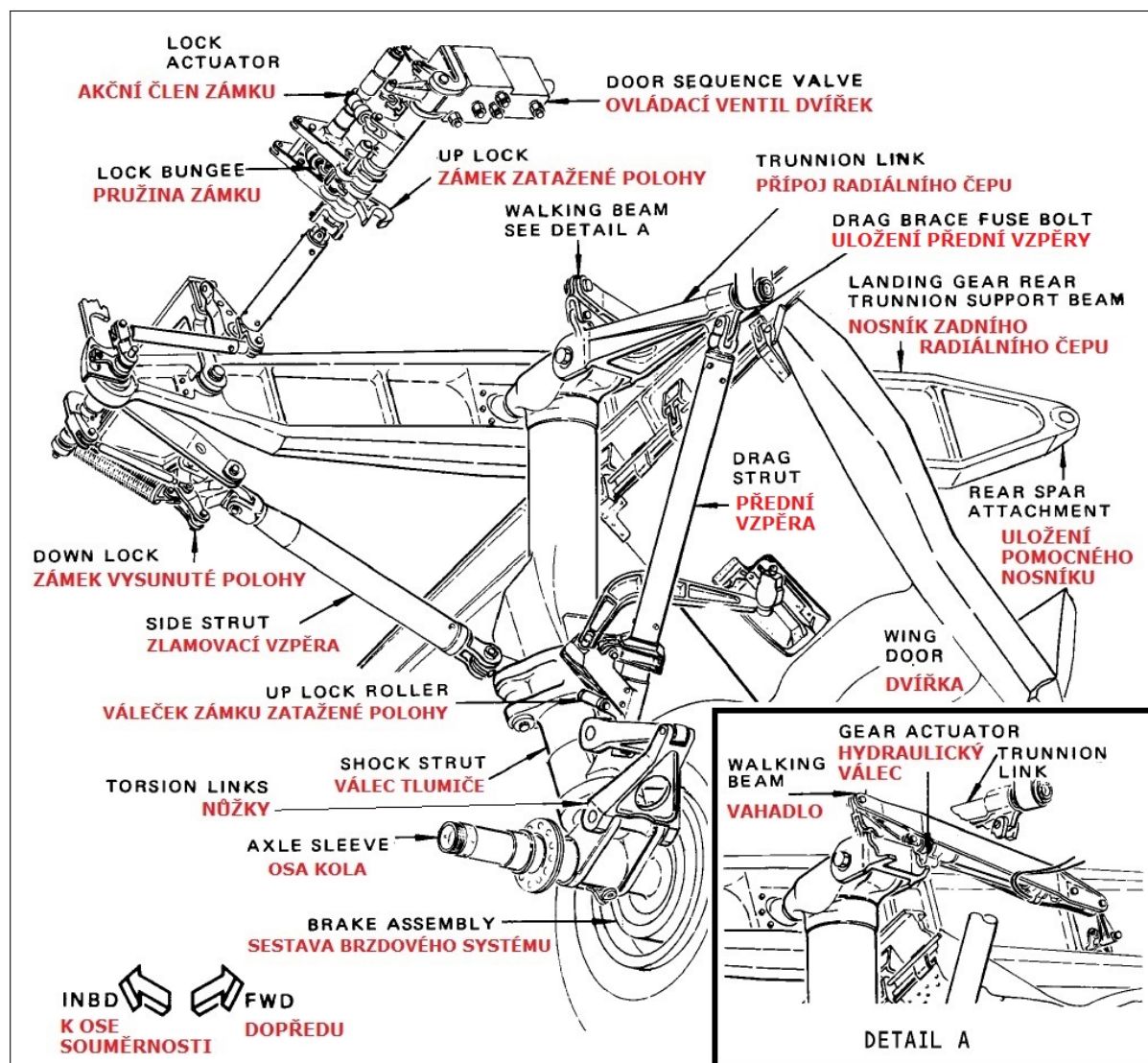
Brzdění jsou převážně hlavní podvozky. Brzděním obou kol lze docílit snížení rychlosti letounu, střídavým brzděním jednoho kola pak změnu směru. Na systém brzd je kladena řada požadavků, patří mezi ně požadavky na stejnou účinnost brzd při stejném signálu, plynulý nárůst brzdícího účinku (protiskluzové systémy), rychlé zabrzdění a odbrzdění, rychlé ochlazení a malou hmotnost a opotřebení. Ovládání brzd může být ruční nebo častěji nožní a to systémy mechanickými (bowdeny), pneumatickými nebo nejčastěji hydraulickými. Systém ovládání úzce souvisí s použitým typem brzd. Používají se brzdy bubnové, čelistové, komorové nebo nejúčinnější diskové.

Řízení pozemního pohybu letounu může být pomocí zmíněného přibrzďování jednoho kola hlavního podvozku anebo přímým natáčením příďové podvozkové nohy. Přímé natáčení se používá u lehkých letadel do hmotnosti 1350 kg, bývá spojeno s řízením křídél nebo směrovky. Při návrhu řízeného kola je nutno řešit řadu souvislostí, mezi které patří řešení bočních kmitů podvozku, odpojení řízení při zatahování a v zataženém stavu podvozku, zálohování řízení, možnost volného natáčení kola při vypnutém řízení a podobně. Ovládání může být ruční nebo nožní systémy mechanickými nebo hydraulickými. [9, 16, 22]

Ostatní části

Pro zachování provozní bezpečnosti se do konstrukce podvozků zařazují i za cenu zvýšené hmotnosti a složitosti tlumiče nežádoucího bočního kmitání podvozkové nohy (shimmy), které nastává při určitých rychlostech poježdění. Nejjednodušeji se mohou použít křídélkové nebo pístové antishimmy tlumiče, které jsou speciálně upravené mezi pevnou a otočnou částí tlumiče, nebo antishimmy pneumatiky se specifickým příčným průřezem. Méně jsou používány třecí antishimmy tlumiče se suchým třením mezi oběma částmi tlumiče. Dále se může použít konstrukčních úprav, které spočívají v uložení kola s volným posuvem v axiálním směru nebo dvojí uložení kola na podvozkové noze ve svislém směru. Použití dvoukolového podvozku má rovněž tlumící účinek.

Dalšími částmi podvozkových noh jsou nůžky, osa kola, zámky poloh, spojovací kování na draku letounu a spojovací součásti. [9, 16, 22]



Obrázek 1.2: Teleskopická hlavní podvozková noha Boeingu 727 [33]



Obrázek 1.3: Teleskopická hlavní podvozková noha Boeingu 727 na reálném letounu

2 Zatahování podvozku

Pevný podvozek pružinového typu vytváří šest až osm procent škodlivého odporu letadla, rychlost letu snižuje o tři až čtyři procenta. U letounů s cestovní rychlostí okolo $150 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ je použití zatahovacího podvozku s ohledem na konstrukci zasouvacího mechanismu, jeho cenu, hmotnost a údržbu problematické. Zpravidla se používají aerodynamické kryty pevných podvozkových noh, které odpor dostatečně snižují.

U letounů s vyšší hmotností a cestovní rychlostí je použití zasouvacího podvozku již opodstatněné. Odpor vysunutého třibodového přistávacího zařízení činí 15 až 20 % aerodynamického odporu čistého letadla, proto vysunutý podvozek při přiblížení na přistání působí jako aerodynamická brzda. Běžně se pro zatahování podvozku uvažují rychlosti od $250 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. [7, 16, 22]

2.1 Požadavky na podvozek

Na zatahovací podvozek jsou kladeny další požadavky. [16, 22]

- Zasouvání nebo vysouvání podvozku u malých letadel nemá trvat déle než 8 až 12 sekund.
- Podvozek má být co nejmenší (skladnost) a nejjednodušší (provozní spolehlivost).
- Vysunutí podvozku musí být spolehlivé. Proto musí být systém vysouvání zálohován a zámky krajních poloh krajně spolehlivé. Systém musí obsahovat signalizaci polohy podvozku (včetně signalizace poruchy signalizace, aj.), chování podvozku musí být stabilní i v případě opotřebení součástí.
- Vnější kryty podvozkových šachet musí mít co nejmenší odpor (při zasunutí i vysunutí poloze podvozku). Kryty by se po vysunutí podvozku měli zasunout v případech kdy je to možné.
- Vnitřní prostor podvozkových šachet musí být rovněž zakrytován, aby se zabránilo znečištění vnitřní konstrukce. Podvozkovou šachtou nesmí vést žádné potrubí s hořlavinami.
- Mechanismus musí být koncipován tak, aby byl snadno dostupný a udržitelný.

2.2 Způsob zatahování podvozku

Způsoby kam, do jaké polohy a „jak moc“ zatahovat podvozkovou nohu se různí, vždy záleží na konkrétní konstrukci letounu.

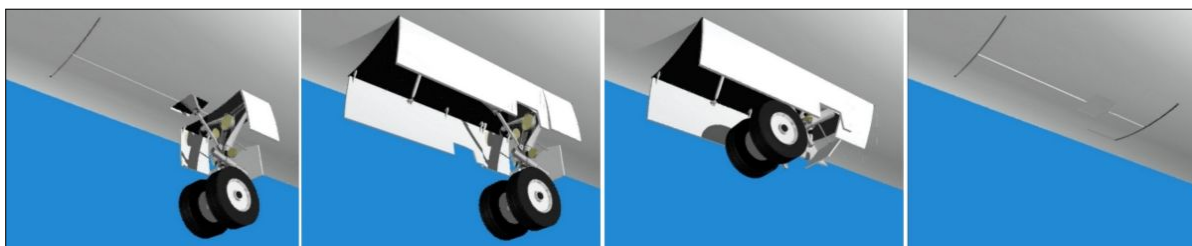
Úroveň zatažení

Jak pro hlavní tak i příďový podvozek lze rozlišovat úroveň zatažení podvozkové nohy - úplné nebo částečné zatažení. Obě formy zasunutí mohou být s úplným zakrytováním, částečným zakrytováním nebo bez zakrytování.

Příďový podvozek

Příďový podvozek lze otočně zatahovat do trupu a to po směru nebo proti směru letu. U dvumotorových letounů odpadá potíž s umístěním motoru v přídi letounu, podvozková noha může být bez větších problémů uchycena a zatahována oběma směry. Během zatahování může být podvozková noha otočena o 90° z důvodu lepšího uskladnění kola v trupu. Rozhodující pro volbu zatahování je poloha těžiště respektive jeho změna podle způsobu zatahování hlavního podvozku.

Ve všech variantách konstrukčních návrhů uvažuji zatahování po směru letu bez natočení. Tato volba je zejména determinována velikostí rozvoru a délkou podvozkové nohy.



Obrázek 2.1: Zatahování příďové podvozkové nohy Airbusu A320 proti směru letu [31]

Hlavní podvozek

Způsob zatahování hlavního podvozku závisí zejména na poloze jeho uložení v draku letounu. Podvozkovou nohu lze zatahovat do trupu nebo/a křídla od osy nebo k ose souměrnosti letounu, u dvumotorových letounů do motorové gondoly po směru nebo proti směru letu.

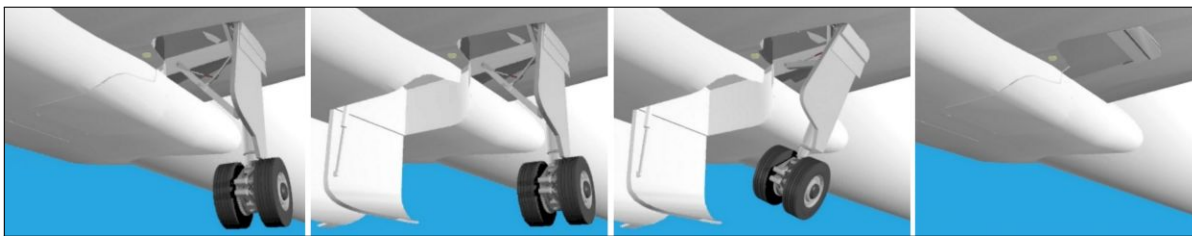
Zatahování do motorové gondoly po směru letu ve svém návrhu uvažuji v kapitole 3 v uspořádáních 1 a 2, které přehledně zobrazují obrázky 3.4, 3.7, 3.8, 3.11, 3.12, 3.15 a 3.16.

Zatahování do motorové gondoly proti směru letu diskutuji v kapitole 4 v uspořádáních 3 a 4. Obrázky 4.3, 4.4, 4.5, 4.8 a 4.11 poskytují dobrý vhled do problematiky.

Konečně zatahováním do centroplánu příčně směrem k ose souměrnosti letounu se zabývám v kapitole 5, uspořádání 5. Obrázky v této kapitole dokumentují uvedený způsob zatahování.

2.3 Konstrukce mechanismu

Zatahovací mechanismus podvozku je charakteristický určitými konstrukčními rysy. Mechanismus je staticky určitá příhradová konstrukce, porucha kterékoliv jeho části znamená



Obrázek 2.2: Zatahování hlavní podvozkové nohy Airbusu A320 směrem k ose souměrnosti letounu [30]

ztrátu provozuschopnosti. Jedná se téměř výhradně o čtyřkloubové mechanismy, které jsou doplněny částmi (zámky) zajišťujícími neproměnnost mechanismu pod zatížením.

Dosavadní konstrukční uspořádání mechanismů lze dělit do čtyř skupin. Jsou to podvozky se zlamovací vzpěrou se zámkem na vzpěře, přímočinné mechanismy se zámkem na draku nebo ve válci a skládací mechanismy. Liší se zejména polohou zámku a podílem na přenosu zatížení podvozkové nohy. [16]

2.4 Pohon mechanismu

Velké letouny kategorie CS-25 zatahují podvozek pomocí hydraulického systému, který je na letounu již rozveden a využit zejména k silovému ovládní řídicích ploch. Jeho výhodou je výhodné zálohování zdrojů. Na letounech všeobecného letectví se stále častěji uplatňuje elektrický způsob pohonu, jehož instalace a údržba je méně náročná. Svými výkony pro tuto kategorii vyhovuje a nabízí řadu výhod v podobě snadnějšího přenosu výkonu a snadnějšího zálohování výkonových členů. Splňuje požadavek jednoho typu energie na palubě což navyšuje spolehlivost celku. Řízení a automatizace je využitím moderních elektronických systémů rovněž snadnější. Nevýhodou může být složitý mechanický převod táhly, pákami, klouby a ozubenými koly. Mechanické ovládní je výhodné pro konstrukci nouzového systém vysunutí. [16]

2.5 Zatahování podvozku vybraných letounů

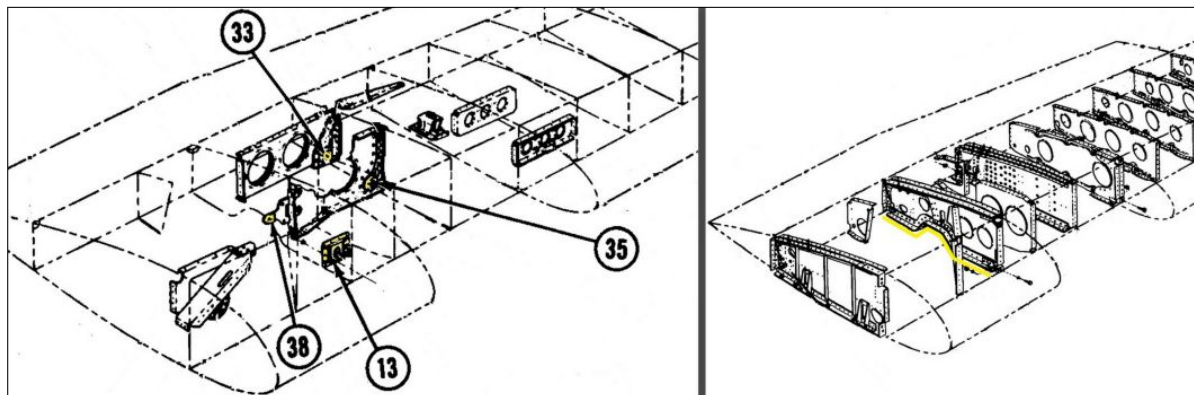
2.5.1 Cessna 310/320

Cessna 310/320 je pěti až šestimístný dvoumotorový dolnoplošník vyráběný v letech 1959 až 1980. Výkon šestiválce s protiběžnými písty s pokračujícími verzemi narůstal z původních 240 na 280 koní, stejně tak maximální vzletová hmotnost narůstala z 2190 na 2495 kilogramů. Konstrukce draku je rozdělena na trup, křídlo a ocasní plochy. Přistávací zařízení je příďového typu. [43, 51]

Příďový podvozek

Teleskopická podvozková noha je zatahována po směru letu. V zasunutém stavu je zatažena úplně a úplně zakrytována. Ve vysunuté poloze jsou dvoudílná dvířka krytu otevřena.

Zatahovací mechanismus je se zlamovací vzpěrou. Příďové kolo je mechanicky řízeno společně s řízením směrovky. Brzdový systém na obou podvozcích je hydraulický. Na příďovém podvozku je použit antishimmy tlumič. [37, 43]



Obrázek 2.3: Uložení podvozkové nohy a zkrutné trubky zatahovacího mechanismu Cessny 310/320 [43]

Hlavní podvozek

Teleskopická podvozková noha hlavního podvozku je uchycena do křídla a do křídla zatahována směrem k ose souměrnosti letounu do prostoru mezi oba hlavní nosníky křídla. V zasunutém stavu je podvozková noha zatažena úplně a úplně zakrytována. Dvířka krytu jsou dvoudílná, vnější část je pevně spojena s podvozkovou nohou a ve vysunutém stavu tedy zůstává otevřena. Vnitřní část dvířek, která kryje podvozkové kolo, se otevírá pouze při procesu zasouvání nebo vysouvání podvozkové nohy. Zatahovací mechanismus je se zlamovací vzpěrou. Mechanický zámek tvaru západky není součástí zlamovací vzpěry, ale je umístěn vně mezi vzpěrou a podvozkovou nohou a je odjištěn samostatně pohybem směrem k trupu letounu. Nouzový systém vysunutí je ruční mechanický. Společně s oběma podvozky se zatahuje i nástupní schod.

Pohon zasouvacího mechanismu podvozku zajišťuje stejnosměrný 28 V elektromotor umístěný ve střední části trupu. Otáčky elektromotoru jsou redukovány dvojnásobným čelním soukolím a šnekovým soukolím¹. Pohyb šnekového kola je mechanicky pomocí soustavy táhel, úhlových pák a zkrutných trubek přiveden na zlamovací vzpěry všech tří podvozkových noh. Složitost soustavy navyšuje mechanismus pro současné ovládání dvířek krytů. [37, 43]

Obrázek 2.3 znázorňuje zavěšení podvozkové nohy a uložení zkrutné trubky ovládacího mechanismu v levém křídle letounu. Pozice² 33 a 35 odkazují na kování a ložiska uložení podvozkové nohy, pozice 13 a 38 na držák a uložení zkrutné trubky ovládacího mechanismu. Je zřejmé zesílení žeber v místě uložení nohy stejně jako vybrání žebra pro zasunutou pozici podvozkové nohy.

¹Výhodou šnekového soukolí je jeho samosvornost, což je zejména výhodné pro zamčení podvozku v jeho krajních polohách (společně se západkou).

²Pozice odpovídají číslování dle katalogu [43].

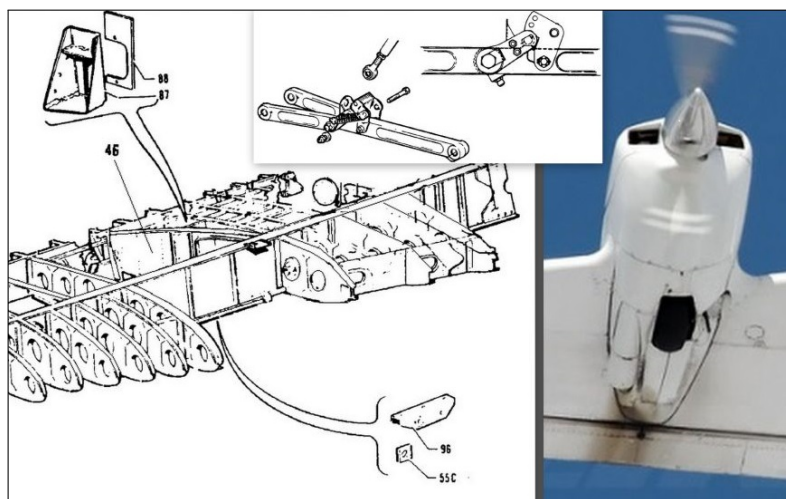
Zatahovací podvozek dvoumotorové šestimístné Cessny 335/340 vyráběné v letech 1971 až 1984 je navržen obdobným způsobem.

2.5.2 Piper PA-23 Apache/Aztec

Piper PA-23 Apache/Aztec je čtyř až šestimístný dvoumotorový dolnoplošník vyráběný v letech 1952 až 1982. Výkon instalovaného šestiválce s protiběžnými písty činí 235 koní a v přeplňované verzi 250 koní. Maximální vzletová hmotnost je dle provedení od 2177 do 2360 kilogramů. Konstrukce draku je rozdělena na dvoudílný trup, křídlo a ocasní plochy. Přistávací zařízení je s příďovým podvozkem. [52]

Příďový podvozek

Teleskopická podvozková noha je zatahována po směru letu, zatažení je částečné s úplným nebo částečným zakrytváním. Dvířka krytu jsou ve vysunuté poloze otevřená. Mechanismus zatahování je se zlamovací vzpěrou, která je na obou podvozcích ovládána hydraulickým pracovním válcem s jednostrannou pístnicí. Na zlamovací vzpěře je mechanický zámek, který



Obrázek 2.4: Právě křídlo, zlamovací vzpěra se zámkem a spodní pohled na motorovou gondolu Piperu Aztec [12, 32, 34]

je ve vysunutém stavu jištěn po obou stranách zdvojenými pružinami, hydraulický okruh je chráněn jednosměrným ventilem instalovaným na levé podvozkové noze. Ovládání dvířek je mechanicky spojeno s mechanismem zatahování, pozdější verze mají hydraulické ovládání. Hydraulický okruh zatahovacího mechanismu je společný s okruhem ovládání řídicích ploch, brzdový systém je samostatný. Noha je říditelná v rozsahu 30°, ovládání je nožní společně se směrovkou. Během zatahování a v zataženém stavu je řízení odpojeno. [34]

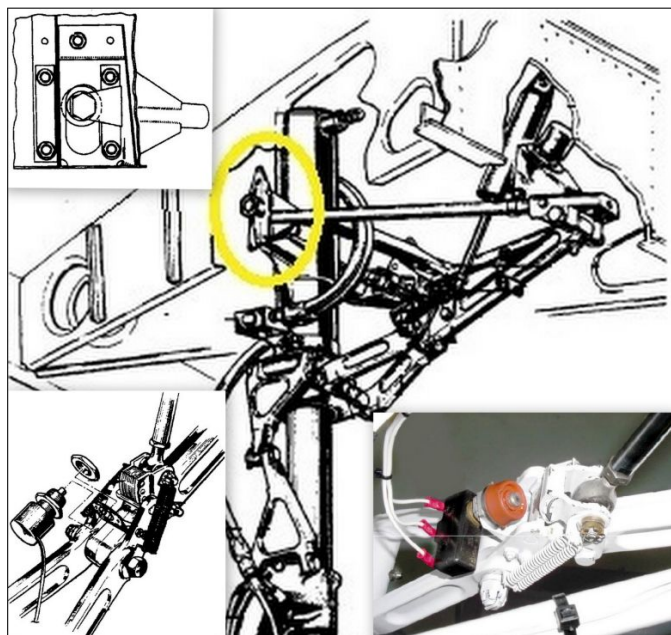
Hlavní podvozek

Teleskopická podvozková noha hlavního podvozku je uložena v křídle a zatahována do motorové gondoly proti směru letu. Zatažení je částečné s úplným nebo částečným zakrytváním, kolo je uloženo v prostoru před předním nosníkem. Dvířka krytu jsou ve vysunuté poloze otevřená. [34]

Dvoudílné zesílené žebro pravého křídla na obrázku 2.4 odpovídá pozici³ 46, pozice 87 a 88 je závěs a podložka uložení podvozkové nohy a pozice 55C a 96 je ložisko a

³Pozice odpovídají číslování dle katalogu [32].

držák mechanismu ovládání dvířek krytu. Na obrázku je také detail zlamovací vzpěry s mechanickým zámekem a spodní pohled na reálný letoun. [32]



Obrázek 2.5: Levá noha, závěs a zlamovací vzpěra se zámekem Piperu Aztec [20, 34]

Obrázek 2.5 uvádí levou podvozkovou nohu, její závěs a zlamovací vzpěru se zámekem. Zámek je vybaven dotykovým spínačem, který indikuje vysunutou polohu podvozku.

Dvoumotorová L-200 Morava zatahuje hlavní podvozek rovněž do motorových gondol, zlamovací vzpěra je ovládána hydraulicky. Díky prodloužení motorové gondoly invertního M337 až k odtokové hraně křídla lze polopákovou teleskopickou nohu zasunovat po směru letu úplně a úplně zakrytovat.



Obrázek 2.6: Přistávací zařízení L-200 [14, 15, 17]

2.5.3 Piper PA-30/39 Twin Comanche

Piper PA-30/39 Twin Comanche je čtyř až šestimístný dvoumotorový dolnoplošník vyráběný v letech 1962 až 1973, výroba po zatopení výrobní linky nebyla obnovena. Letoun

je osazen dvěma čtyřválcí s protiběžnými písty o výkonu 160 koní. Maximální vzletová hmotnost je dle varianty 1633 nebo 1690 kilogramů. Letoun je dvoumotorovou verzí původně jednomotorového Piperu PA-24 Comanche o výkonu 250 nebo 400 koní s podobnou maximální vzletovou hmotností od 1315 do 1633 kilogramů. Způsob zatahování je u obou verzí stejný, podvozkové nohy nejsou záměnné. Hodnoty rozvoru a rozchodu se liší. U dvoumotorové verze došlo k vyztužení trupu, do kterého se od hlavního podvozku převádí více energie přistávacího rázu než u jednomotorové verze⁴. Rovněž plocha svislých ocasních ploch byla navýšena. [27, 38, 50, 53, 55, 57]



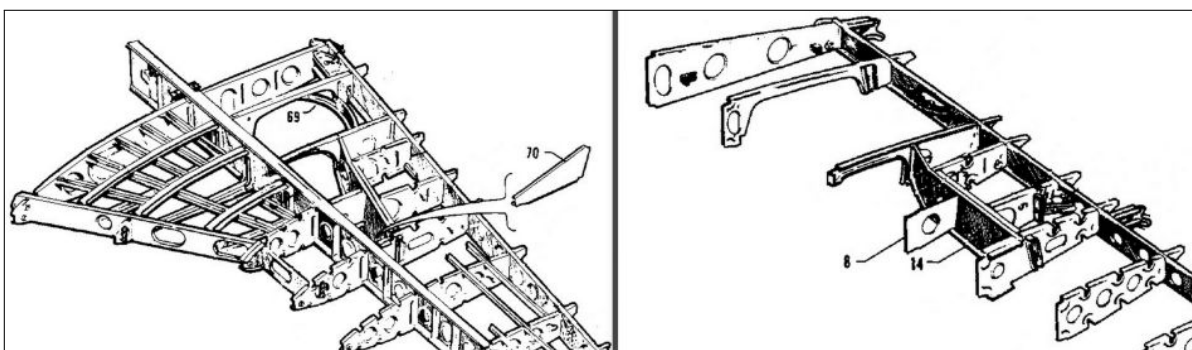
Obrázek 2.7: Piper Comanche a Twin Comanche [8, 18]

Příďový podvozek

Teleskopická podvozková noha příďového podvozku je zatahována po směru letu, zatažení je úplné s úplným zakrytváním. Ve vysunutém stavu zůstávají dvířka krytu otevřena.

Hlavní podvozek

Teleskopická podvozková noha hlavního podvozku je uchycena v křídle a úplně zatahována mezi nosníky křídla směrem k ose souměrnosti letounu, zakrytování je částečné. Jednodílná dvířka krytu jsou pevně spojena s podvozkovou nohou a při vysunutí tak zůstávají otevřena. Pohled na konstrukci křídla (obr. 2.8) je z katalogu pro jednomotorovou verzi Comanche, číslování pozic je zachováno. Pozice 69 značí výztuhu křídla v oblasti zataženého kola, pozice 70 přepážku pro uchycení krytu nohy. Pozice 8 a 14 značí nosníky pro uchycení podvozkové nohy. [42]



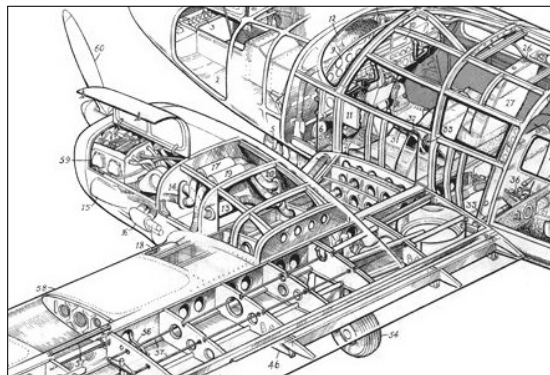
Obrázek 2.8: Konstrukce levého křídla Piperu Twin Comanche [42]

⁴Díky poloze motoru v nosu letounu je poloha těžiště jednomotorových letounů blíže příďovému podvozku výhodnější. Při přistání spadá na příďový podvozek vyšší poměr zatížení a je lépe využit. [27]

Každá podvozková noha je vybavena zlamovací vzpěrou, která je ve vysunuté poloze jištěna vinutou pružinou. Pohon mechanismu podvozku zajišťuje elektromotor. Otáčky jsou zredukovány přímým a šnekovým soukolím a převedeny na přímočarý pohyb ovládacího bowdenu šroubovým převodem.

Nástupce modelu PA-39 Piper PA-40 Arapaho, který se nedostal do sériové výroby, byl navržen s obdobným uspořádáním přistávacího zařízení.

2.5.4 Piper PA-34 Seneca



Obrázek 2.9: Řez Piperem PA-34 Seneca [45]

Pohonnou jednotku Senecy tvoří ploché čtyřválcové Lycoming IO-360-A1A o výkonu 200 koní nebo přeplňované ploché šestiválce Continental TSIO-360-RB o výkonu 220 koní. Letoun je pěti až šestimístný. [54, 56]

Podobná dědičnost uspořádání přistávacího zařízení zůstala zachována i v modelové řadě Piperu u jednomotorového PA-28R Cherokee Arrow a dvoumotorového derivátu PA-34 Seneca, který je od roku 1971 stále ve výrobě. Rozdílný je způsob zatahování příďového podvozku patrný z obr. 2.10. Maximální vzletová hmotnost modelu PA-28R je podle varianty 1134 nebo 1315 kilogramů a modelu PA-34 1905 nebo 2155 kilogramů. Je tedy zřejmé, že podvozkové nohy musely být přepracovány.



Obrázek 2.10: Piper Cherokee Arrow a Seneca [1, 13]

Příďový podvozek

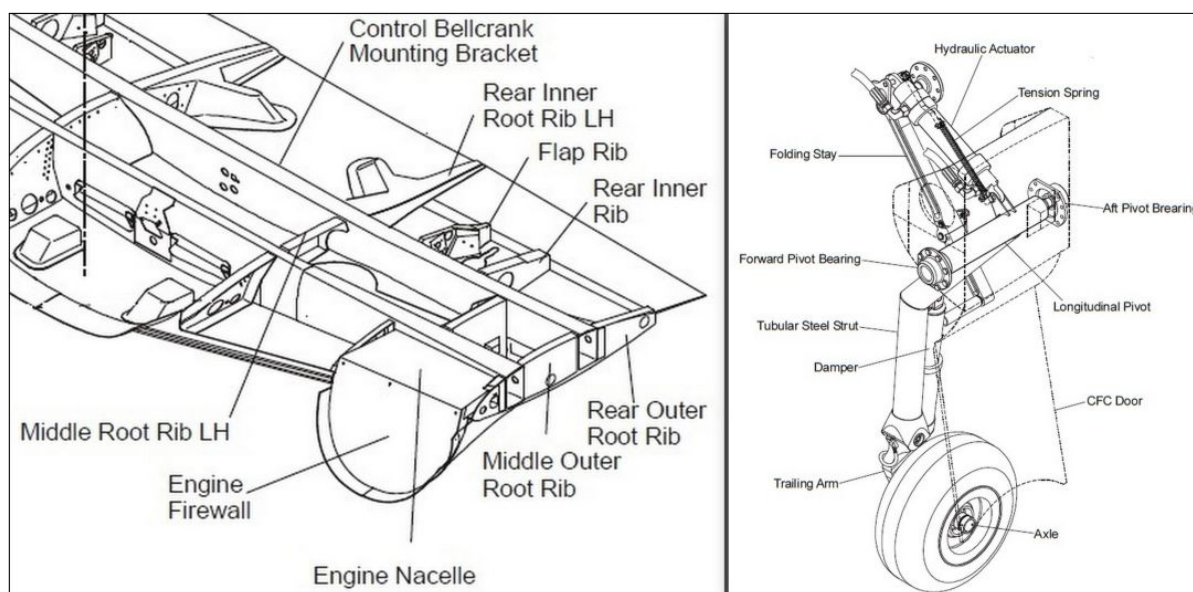
Teleskopická podvozková noha příďového podvozku je zatahována proti směru letu, zatažení je úplné s úplným zakrytáním. Ve vysunutém stavu zůstávají dvířka krytu otevřena.

Hlavní podvozek

Obdobně jako u modelu Twin Comanche i zde je teleskopická podvozková noha zatahována směrem k ose souměrnosti letounu mezi nosníky křídla, zatažení je úplné s částečným zakrytováním. Zlamovací vzpěra zatahovacího mechanismu je ovládána hydraulickým pracovním válcem s jednostrannou pístnicí. V zatažené poloze je noha držena pouze hydraulickým válcem, ve vysunuté pozici je vzpěra jištěna vinutou pružinou. Neúmyslnému zatažení brání dotykový vypínač na levé noze, který přerušuje tok elektrické energie k motoru hydrogenerátoru. Jakmile se letoun při vzletu nalezne ve vzduchu, podvozkové nohy jsou plně odlehčeny a vypínač odjištěn. [49]

2.5.5 Diamond DA-42 Twin Star

Kompozitový čtyřmístný dolnoplošník je v sériové výrobě rakouského výrobce od roku 2002. Maximální vzletová hmotnost letounu je dle varianty 1785 nebo 1900 kilogramů. Pohonnou jednotkou může být řadový zážehový čtyřválec TAE 125-01 Centurion o výkonu 135 koní a objemu jedna celých sedm respektive dvou litrů společnosti Thielert Aircraft Engines. V nabídce je rovněž zážehový čtyřválec s protiběžnými písty Lycoming IO-360 o výkonu 180 koní a vznětový řadový čtyřválec AE-300 společnosti Austro Engine o výkonu 170 koní. Nižší výkon motorů je kompenzován snahou výrobce o vyšší aerodynamickou čistotu. Letoun je rozdělen na centroplán, křídlo, trup a ocasní plochy. [17, 40]



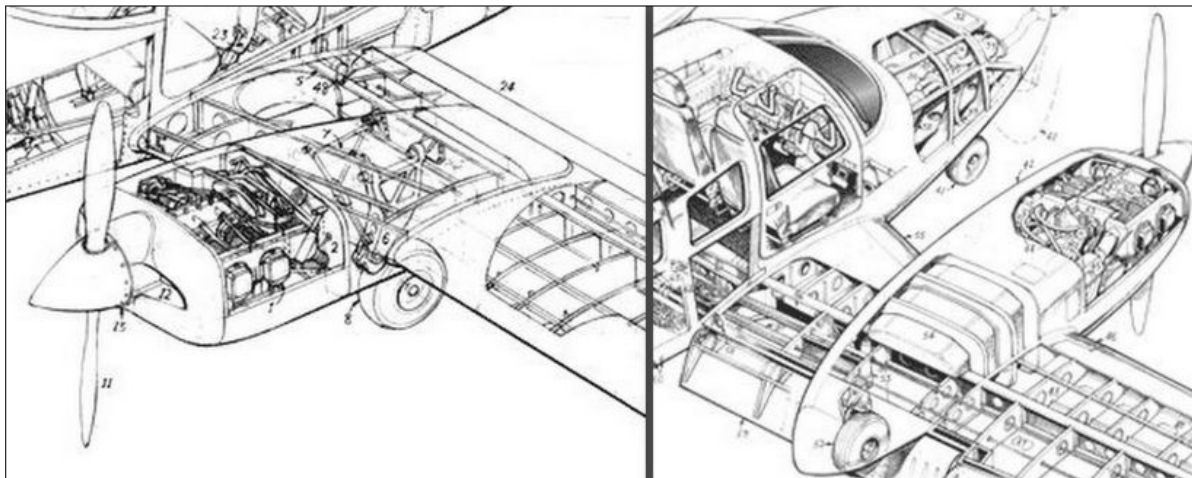
Obrázek 2.11: Centroplán a hlavní podvozková noha DA-42 [39]

Přídový podvozek

DA-42 je prvním letounem výrobce Diamond se zasouvacím přistávacím zařízením. Oba podvozky jsou ovládány hydraulicky, přídová teleskopická noha se zasouvá úplně proti směru letu a v zasunutém stavu je úplně zakrytována. [17]

Hlavní podvozek

Podvozková noha s vlečeným kolem je uložena v křídle a zasouvána mezi nosníky centroplánu směrem k ose souměrnosti letounu. V zasunutém stavu je zakrytováno pouze tělo podvozkové nohy, dvířka krytu jsou s nouhou pevně spojena. Zasouvání obou podvozků trvá šest až osm sekund. [17, 39]



Obrázek 2.12: Beechcraft Duchess a Piper PA-44 Seminole [35, 46]

Podobně jsou uspořádány a hydraulicky ovládány podvozky letounů Piper PA-44 Seminole a Beechcraft Duchess, které zatahují hlavní podvozek k ose souměrnosti letounu mezi nosníky křídla viz obr. 2.12. Příďový podvozek zatahují odlišně po směru letu. [44, 47]

2.5.6 VUT100 Cobra

Čtyř až pětímístný jednomotorový dolnoplošník VUT100 je v nabídce kunovického Evektoru ve dvou verzích, které se odlišují instalovaným motorem a maximální vzletovou hmotností. Verze 120i má maximální vzletovou hmotnost 1330 kilogramů a je poháněna 200 koňovým čtyřválcem s protiběžnými písty Lycoming IO-360-A1B6. Verze 131i má maximální vzletovou hmotnost 1450 kilogramů, je poháněna šestiválcem s protiběžnými písty Lycoming IO-580-B1A o výkonu 315 koní. Konstrukce draku má modulární konstrukci, je rozdělena na dědičné části - křídlo, centroplán, trup a ocasní plochy. [58]

Příďový podvozek

Teleskopická podvozková noha příďového podvozku je společně s motorem uložena v loži ze svařovaných trubek. Noha je vybavena zlomovací vzpěrou a zatahována do trupu po směru letu. Zatažení je částečné se zakrytováním podvozkové nohy. Dvířka krytu ve vysunutě poloze zůstávají otevřená.

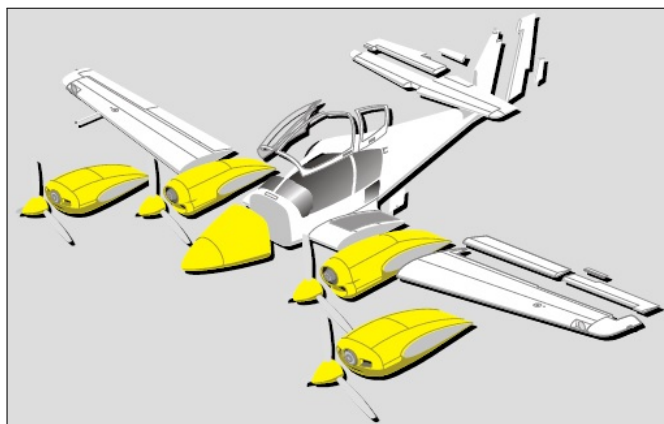
Hlavní podvozek

Podvozková noha je typu s vlečeným kolem, kdy hydropneumatický tlumič je umístěn vně podvozkové nohy. Noha je vybavena zlomovací vzpěrou, je uložena a zatahována do

centroplánu směrem k ose souměrnosti letounu. Zatažení je úplné se zakrytím pouze podvozkové nohy. Dvířka jsou s nohou pevně spojena, při vysunutí nohy tedy zůstávají otevřena. Pohon zatahovacího mechanismu obou podvozků je zajištěn elektromechanickými aktuátory.

2.5.7 VUT200 TwinCobra

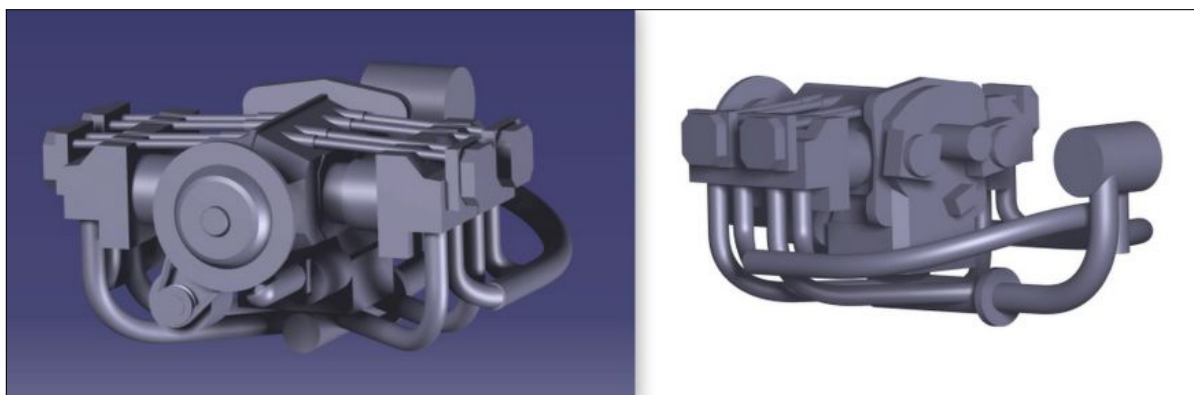
Čtyř až pětímístný dvoumotorový dolnoplošník VUT200 TwinCobra pochází z řady letounů VUT100 a nachází se ve stádiu konstrukčního projektu. Původně zamýšlené české invertní řadové šestiválce LOM M337A jsou v návrhu nahrazeny přeplňovanými čtyřválcí s protiběžnými písty Lycoming TIO-360 se srovnatelným výkonem 200 nebo 210 koní dle provedení. Uvažovány jsou také diesellové agregáty o výkonu 220 až 250 koní. Předpokládám zá-



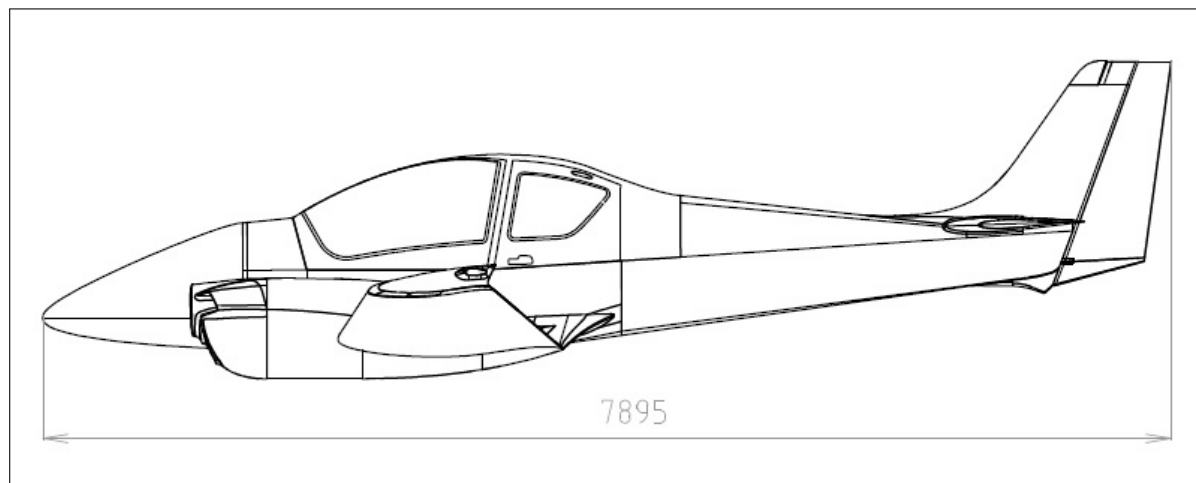
Obrázek 2.13: Modulární konstrukce rodiny VUT100 [59]

stavbu motoru do lože ze svařovaných trubek, vylučuji použití nosníkového motorového lože. Z návrhu rovněž vylučuji použití mezikusu, který by nesl motor a byl vložen mezi centroplán a vnější křídlo. Instalováním motoru na křídlo dochází ke zvýšení statických momentů, nosník musí být kompletně předimenzován a dědičnost centroplánu tak nemůže být zachována. Rovněž zdvojnásobení počtu závěsů není žádoucí.

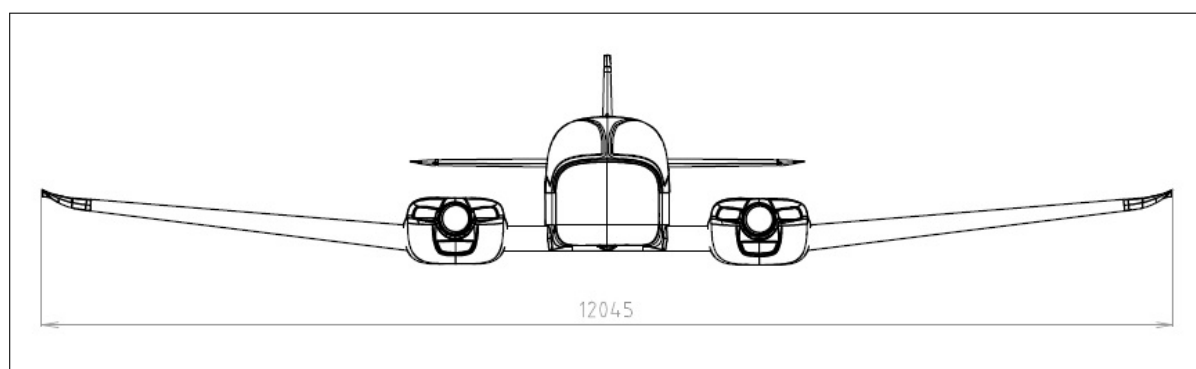
V jednotlivých návrzích uspořádání podvozkových noh respektuji původní výškovou polohu hlavního podvozku podle dokumentu Rozbor hmotností a centrál [29]. V každém z uspořádání rovněž navrhuji novou výškovou polohu těžiště nohy z hlediska požadavku co nejúplnějšího zatažení podvozku. Vybrané uspořádání je diskutováno z hlediska pevnostních charakteristik vybraného případu zatížení.



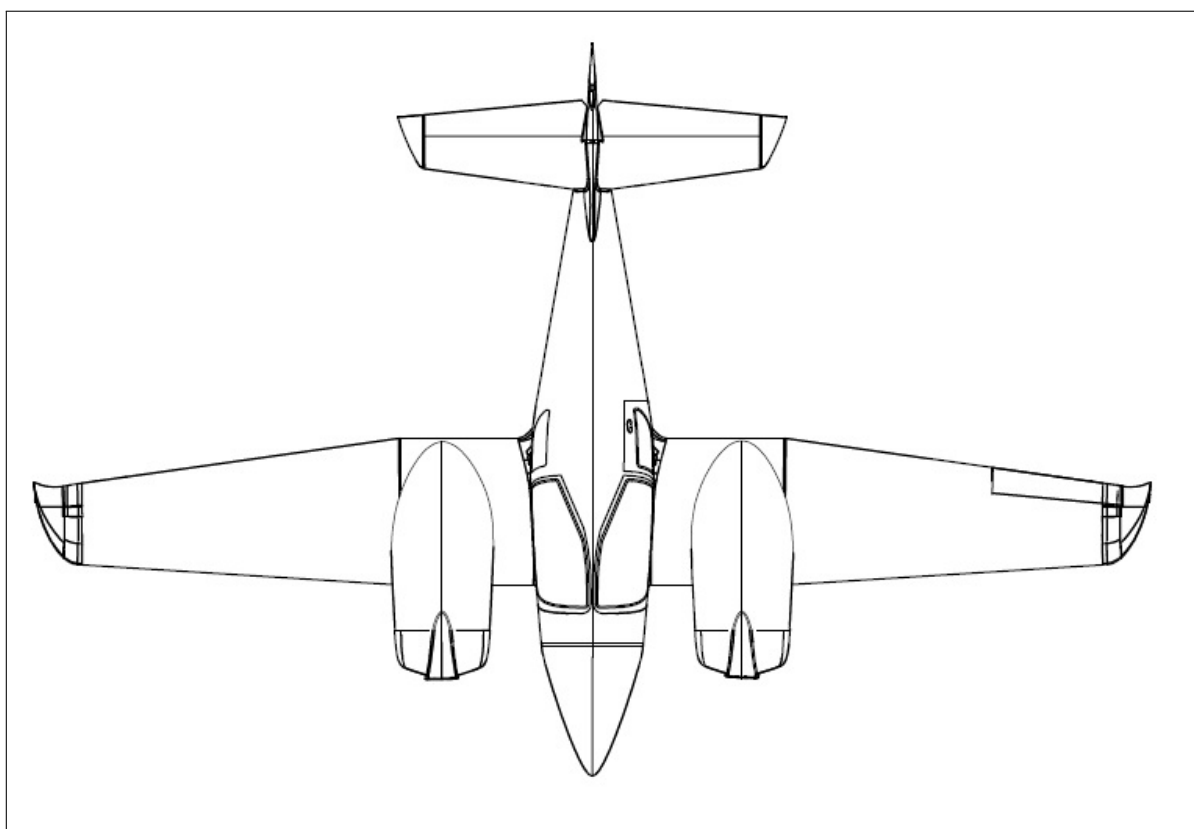
Obrázek 2.14: Motor Lycoming TIO-360-A1A



Obrázek 2.15: Boční pohled na VUT200 (bokorys)



Obrázek 2.16: Přední pohled na VUT200 (nárys)



Obrázek 2.17: Horní pohled na VUT200 (půdorys)

Ponechána bílá strana.

3 Zatahování hlavního podvozku podélně po směru letu

Zasouvání podvozkové nohy podélně ať už do motorové gondoly nebo do centroplánu může vést na výhody ve smyslu nižší hmotnosti a zjednodušení zatahovacího mechanismu, kdy podvozkové kolo opisuje kratší vzdálenost než při příčném zatahování. Zachování celistvosti centroplánu, který není narušen žádnou dutinou, je další významnou předností této volby. Nevýhodou je znatelnější změna polohy těžiště při zasouvání a vysouvání podvozku a stávající konstrukční přizpůsobení hlavní podvozkové nohy pro příčné zatahování. Hlavní podvozek může být podélně zatahován po nebo proti směru letu. Pro podélné zatahování po směru letu uvažují dvě uspořádání uložení hlavní podvozkové nohy.

3.1 Uspořádání 1

Hlavní podvozková noha je uložena před hlavním nosníkem, v zataženém stavu vyplňuje prostor mezi oběma nosníky.

Se zástavbou nových motorů Lycoming a změnou polohy obou podvozků je nutno upravit polohu těžiště konstrukčních skupin Pohonná soustava, Instalace motoru, Podvozek vysunutý a Podvozek zasunutý. Novou polohu těžiště uvažují pro prázdný letoun a pro hmotnostní konfigurace letounu v krajních polohách jeho těžiště samostatně pro vysunutý a zasunutý podvozek.

3.1.1 Poloha těžiště motoru

Těžiště jednotlivých konstrukčních skupin a posléze celého letounu určí vyžitím statických momentů ze známých vztahů [4]

$$x_T' = \frac{\sum m_i \cdot x_i'}{\sum m_i}, \quad (3.1)$$

$$y_T' = \frac{\sum m_i \cdot y_i'}{\sum m_i}, \quad (3.2)$$

$$z_T' = \frac{\sum m_i \cdot z_i'}{\sum m_i}. \quad (3.3)$$

Poloha průmětu těžiště na střední aerodynamickou tětívu letounu se vyjádří jako [4]

$$\overline{x_T} = \frac{x_T' - nh_{SAT}}{c_{SAT}}. \quad (3.4)$$

Konstrukční skupina 72: Pohonná soustava

Poř. č. i	Spec. GAMA2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
36	72	Motor TIO-360-A1A levý	175,087	1,920	-0,346	-1,620
36a	72	Motor TIO-360-A1A pravý	175,087	1,920	-0,346	1,620
37	61	Vrtule MTV-12-12B/183-59 levá	21,800	1,450	-0,340	-1,620
37a	61	Vrtule MTV-12-12B/183-59 pravá	21,800	1,450	-0,340	1,620
	61	Regulátor vrtule p-420-3 L+P	1,860	2,325	-0,300	0,000
	71	Lože motoru L+P	19,100	2,040	-0,403	0,000
	54	Motorová gondola L+P	25,800	2,005	-0,396	0,000
	78	Výfuk s tlumičem L+P	16,000	2,110	-0,360	0,000
	71	Vnitřní kryty L+P	1,320	1,903	-0,500	0,000
	79	Olejová soustava L+P	6,800	2,220	-0,300	0,000
	79	Olejová náplň L+P	12,200	2,000	-0,500	0,000
	75	Soustava sání L+P	7,000	1,720	-0,500	0,000
	72	Ostatní L+P	7,490	2,370	-0,400	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			491,344	1,905	-0,357	0,000

Tabulka 3.1: Poloha těžiště konstrukční skupiny Pohonná soustava**Konstrukční skupina 72: Instalace motoru**

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
49	73	Palivová instalace v L křídle	7,700	2,765	-0,665	0,000
50	73	Palivová instalace v P křídle	7,700	2,765	-0,665	0,000
51	76	Ovládání motoru L+P	3,600	3,097	-0,450	0,000
52	76	Ovládání palivového kohoutu L+P	0,580	3,612	-0,720	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			19,580	2,851	-0,627	0,000

Tabulka 3.2: Poloha těžiště konstrukční skupiny Instalace motoru**3.1.2 Varianta konstrukčního řešení 1****Vysunutý podvozek****Konstrukční skupina 32: Podvozek vysunutý**

Hlavní podvozková noha je přemístěna o 320 mm vpřed oproti původnímu návrhu VUT200 dokumentu [29], vertikální poloha nohy je zachována. Hodnota potřebného rozvoru z pohledu podmínky stability proti převrácení při pojiždění z původních 1681 mm poklesla

na hodnotu 1371 milimetrů¹. Ačkoliv tato hodnota vyhovuje podmínce proti převrácení letounu, není vhodná z pohledu podélné stability letounu. Mikula [16] uvádí, že ze statistického průzkumu se délka podvozku (rozvor) ustálila na hodnotě 0,3 až 0,4 násobku délky trupu letounu. U VUT100 je tato hodnota na 0,27, proto ji budu uvažovat i ve svém návrhu. Orientační délka trupu VUT200 je sedm metrů, proto u všech návrhů neuvažuji rozvor menší než 1890 milimetrů².

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	2,905	-1,110	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	2,905	-1,110	1,620
27	32	Brzda L	3,000	2,905	-1,110	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	2,905	-1,110	1,620
29	32	Pneu L	4,200	2,905	-1,110	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	2,905	-1,110	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	2,712	-0,820	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	2,712	-0,820	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,015	-1,110	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,015	-1,110	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,041	-0,680	0,000
	32	Ostatní	0,200	2,380	-0,932	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,306	-0,911	0,000

Tabulka 3.3: Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 1

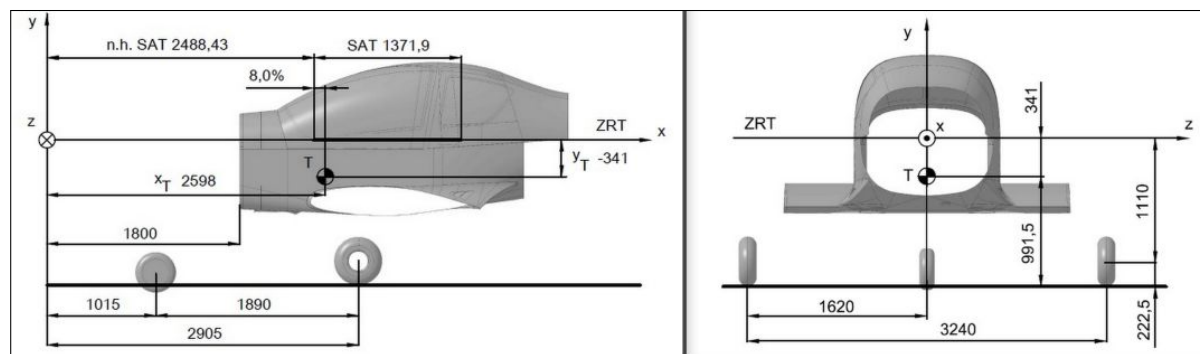
¹Do výpočtu rozvoru vstupují údaje o poloze těžiště, které jsou získány výpočtem těžiště s původním rozvorem (1681 mm). (Aby byla hodnota rozvoru zachována, byla příďová noha v původním výpočtu rovněž přesunuta o 320 mm vpřed.) Výpočet rozvoru je iterační proces (změna rozvoru má za důsledek odlišnou polohu příďové nohy, která mění celkovou polohu těžiště letounu, které má vliv na rozvor). Výpočet je proveden pro obě krajní polohy těžiště letounu, uvažuji hodnotu na bezpečné straně. Postup výpočtu rozvoru je naznačen v následujícím textu. K iteraci používám MS Excel, hodnoty se zpravidla ustálí po třech iteracích.

²Tato hodnota je také vhodná z pohledu podmínky součtu úhlů vyložení hlavního a vedlejšího podvozku od těžiště letounu, výsledný úhel má být vyšší jak 80 až 90°. Doporučení rovněž vychází z podmínky zatížení příďového podvozku, které má být mezi šesti až 15 procenty celkového zatížení.

Prázdný letoun celkem

Poř. č. i	Spec. GAMA2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
1	53	Trup celkem	133,900	3,378	-0,146	0,006
2	57	Křídlo celkem	130,800	3,090	-0,450	0,000
3	55	Ocasní plochy celkem	26,000	7,383	0,378	0,000
4	27	Řízení celkem	28,000	3,129	-0,404	0,000
5	32	Podvozek vysunutý	64,900	2,306	-0,911	0,000
7	72	Pohonná soustava celkem	491,344	1,905	-0,352	0,000
8	71	Instalace motoru celkem	19,580	2,851	-0,627	0,000
9		Výstroj celkem	116,000	2,900	-0,194	0,270
		P. ochr., nátěr. syst., těs. hm. celk.	16,320	3,299	-0,074	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			1026,844	2,598	-0,341	0,031
			$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
			8,0			

Tabulka 3.4: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 1

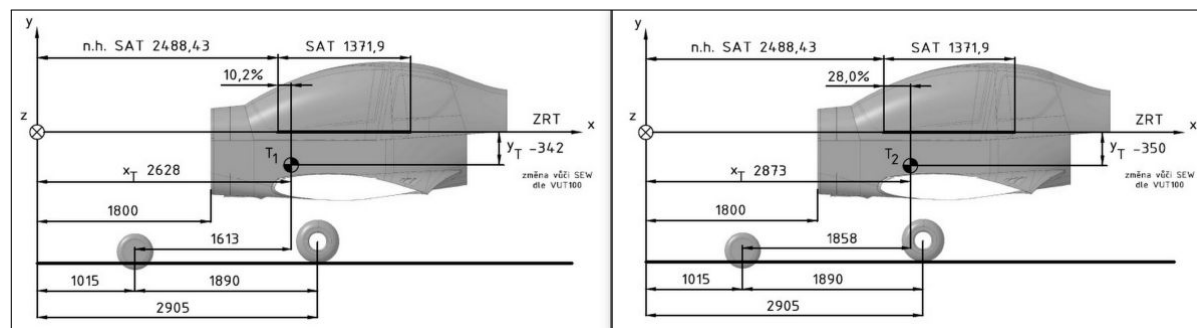


Obrázek 3.1: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 1

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

Poř. č. i	Hmotnostní položka	Hmotnost	Vzdálenost	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
		m_i [kg]	x_i' [mm]	1	22a
1	VUT200 SEW vysunutý podv.	1026,8	2598	1026,8	1026,8
3	1. Pilot (min. hmotnost)	60,0	2955	60,0	
5	1. Pilot (nadst. hmotnost)	100,0	2925		100,0
7	2. Pilot/cest. (nadst. hmotnost)	100,0	2955		100,0
9	1. Cestující (nadst. hmotnost)	100,0	3725		100,0
11	2. Cestující (nadst. hmotnost)	100,0	3725		100,0
14	Zavazadla max.	60,0	4165		60,0
16	Palivo	65,0	3195		65,0
17	Palivo navigační rezerva	20,0	3198	20,0	
		Celková hmotnost m [kg]		1106,8	1551,8
		Centráž x_T' [mm]		2628	2873
		Centráž $\bar{x}_T$ v % SAT		10,2	28,0

Tabulka 3.5: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 1



Obrázek 3.2: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 1

Zasunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek zasunutý

Se změnou polohy obou podvozků dochází ke změně polohy těžiště přistávacího zařízení i v zasunutém stavu.

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	3,048	-0,960	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	3,048	-0,960	1,620
27	32	Brzda L	3,000	3,048	-0,960	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	3,048	-0,960	1,620
29	32	Pneu L	4,200	3,048	-0,960	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	3,048	-0,960	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	2,776	-0,772	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	2,776	-0,772	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,671	-0,590	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,671	-0,590	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,316	-0,485	0,000
	32	Ostatní	0,200	2,903	-0,831	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,485	-0,763	0,000

Tabulka 3.6: Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 1

Prázdný letoun celkem

Poř. č. i	Spec. GAMA2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
1	53	Trup celkem	133,900	3,378	-0,146	0,006
2	57	Křídlo celkem	130,800	3,090	-0,450	0,000
3	55	Ocasní plochy celkem	26,000	7,383	0,378	0,000
4	27	Řízení celkem	28,000	3,129	-0,404	0,000
6	32	Podvozek zasunutý	64,900	2,485	-0,763	0,000
7	72	Pohonná soustava celkem	491,344	1,905	-0,357	0,000
8	71	Instalace motoru celkem	19,580	2,851	-0,627	0,000
9		Výstroj celkem	116,000	2,900	-0,194	0,270
		P. ochr., nátěr. syst., těs. hm. celk.	16,320	3,299	-0,074	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			1026,844	2,609	-0,332	0,031
			$\bar{x}_T$ [% c_{SAT}]			
			8,8			

Tabulka 3.7: Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 1

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

Poř. č. i	Hmotnostní položka	Hmotnost	Vzdálenost	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
		m_i [kg]	x_i' [mm]	1	22a
1	VUT200 SEW zasunutý podv.	1026,8	2609	1026,8	1026,8
3	1. Pilot (min. hmotnost)	60,0	2955	60,0	
5	1. Pilot (nadst. hmotnost)	100,0	2925		100,0
7	2. Pilot/cest. (nadst. hmotnost)	100,0	2955		100,0
9	1. Cestující (nadst. hmotnost)	100,0	3725		100,0
11	2. Cestující (nadst. hmotnost)	100,0	3725		100,0
14	Zavazadla max.	60,0	4165		60,0
16	Palivo	65,0	3195		65,0
17	Palivo navigační rezerva	20,0	3198	20,0	
		Celková hmotnost m [kg]		1106,8	1551,8
		Centráž x_T' [mm]		2638	2880
		Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT		10,9	28,6

Tabulka 3.8: Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 1

Poloha těžiště v % SAT - shrnutí

Hmotnostní konfigurace	Podvozek		Změna
	Vysunutý	Zasunutý	
Prázdný	8,0	8,8	0,8
1	10,2	10,9	0,7
22a	28,0	28,6	0,6

Tabulka 3.9: Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 1

Stanovení rozvoru a rozchodu

Aby byl letoun během poježdění stabilní a nehrozilo jeho převrácení při bočním zatížení, musí být navrhnout dostatečný rozvor a rozchod podvozku. Potřebnou míru lze určit využitím podmínky stability podle obr. 3.3, kdy moment stabilizující síly reakce R působící na podvozkové kolo musí být větší nebo roven momentu od destabilizující odstředivé síly, která působí v těžišti letounu. Při výpočtu respektuji původní návrh rozchodu, žadaným výstupem je tedy hodnota rozvoru. Nerovnost momentů k těžišti lze zapsat jako [22]

$$R \cdot c \geq F_t \cdot H, \quad (3.5)$$

ze které vyplývá podmínka stability

$$tg\varepsilon \geq f_t, \quad (3.6)$$

kde

$$tg \varepsilon = \frac{c}{H}. \quad (3.7)$$

Vzdálenost mezi příďovým kolem a kolem levého hlavního podvozku $\overline{AB}$ lze zapsat jako

$$\overline{AB} = \sqrt{b^2 + \frac{B^2}{4}}. \quad (3.8)$$

Nejkratší vzdálenost těžiště od spojnice $\overline{AB}$ je vyjádřena úsečkou c , kterou lze určit z podobnosti trojúhelníků ABC a ADE jako

$$c = \frac{a \cdot B}{2 \cdot \sqrt{b^2 + \frac{B^2}{4}}}. \quad (3.9)$$

Dosazením do podmínky stability dostávám nerovnost

$$tg \varepsilon = \frac{c}{H} = \frac{a \cdot B}{2 \cdot H \cdot \sqrt{b^2 + \frac{B^2}{4}}} \geq f_t. \quad (3.10)$$

Do vztahu dále dosazuji

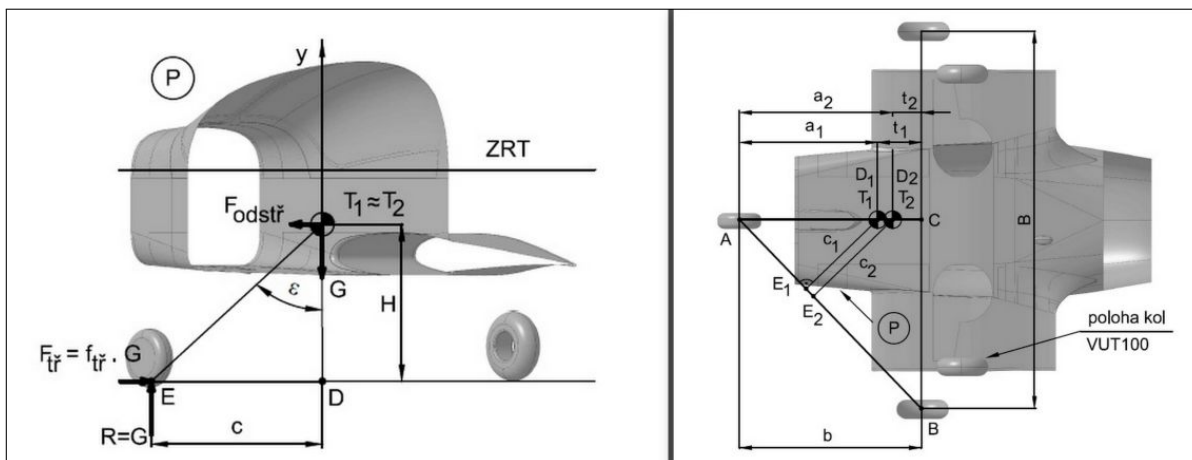
$$a = b - t \quad (3.11)$$

kde t je známý rozměr daný polohou těžiště a polohou hlavního podvozku. Vyjádření hodnoty rozvoru b vede na kvadratickou rovnici

$$(B^2 - 4 \cdot H^2 \cdot f_t^2) \cdot b^2 - (2 \cdot B^2 \cdot t) \cdot b + B^2 \cdot t^2 - B^2 \cdot H^2 \cdot f_t^2 \geq 0 \quad (3.12)$$

Řešením nerovnice jsou tři intervaly. Kladné řešení se nachází v krajních intervalech, tj. vyhovující jsou dvě hodnoty rozchodu (kladná před těžištěm a záporná za těžištěm). Logicky vybírám kladnou hodnotu před těžištěm. Správnost výsledku uvedeného výpočtu lze ověřit zpětným dosazením do známého vztahu pro rozchod [22]

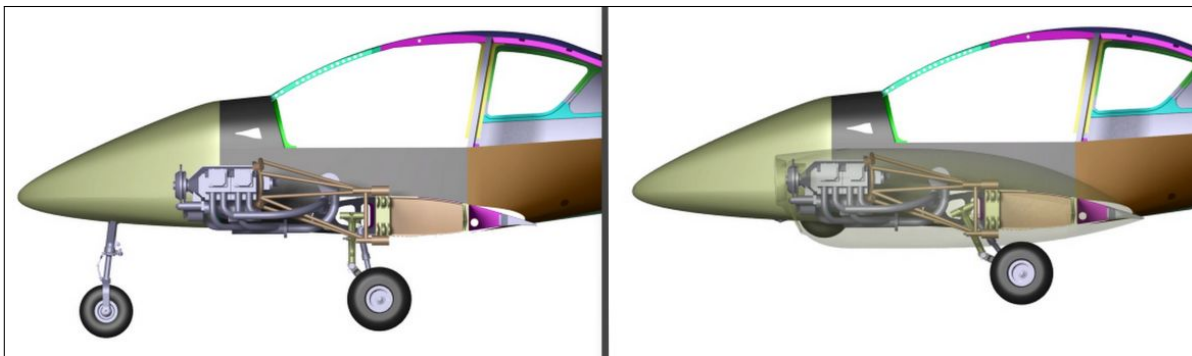
$$B \geq \frac{2 \cdot H \cdot b \cdot f_t}{\sqrt{a^2 - H^2 \cdot f_t^2}}. \quad (3.13)$$



Obrázek 3.3: Stanovení rozvoru [4]

Konstrukce

Při zatahování v podélném směru koná podvozková noha rotační pohyb kolem příčné osy. Stávající podvozková noha VUT100 je naopak uzpůsobena pro příčné zatahování do centroplánu, tj. pro rotační pohyb kolem podélné osy. Tělo nohy tedy musí být konstrukčně upraveno nebo nekonvenčně uloženo tak, aby se zachovala dědičnost dílu a mohlo být použito identické tělo nohy s VUT100. Pro uložení nohy využívám příhradové motorové lože obdobně jako je v případě uložení příďové podvozkové nohy³. Centroplán je prodloužen o 800 mm na každou stranu.



Obrázek 3.4: Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 1 (se zachováním původní vertikální polohy)

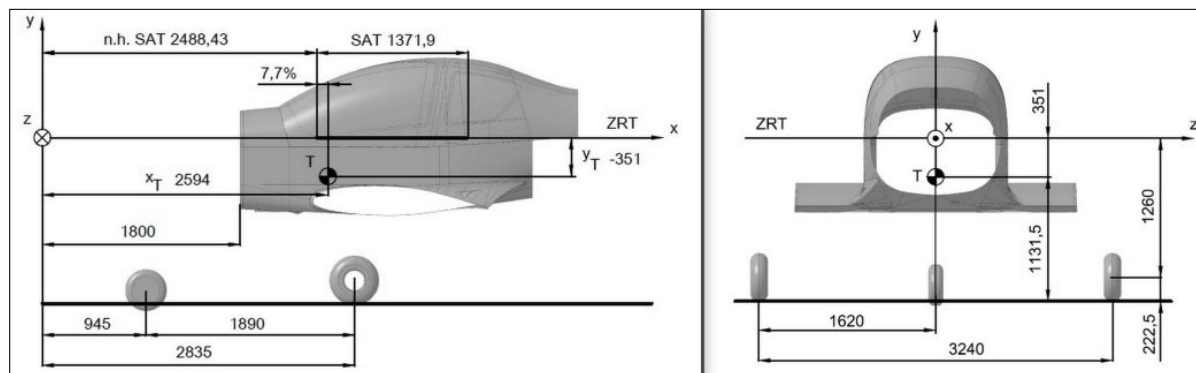
Z obrázku 3.4 je zřejmé, že původní vertikální poloha podvozků pro tento typ uspořádání není vhodná. Příďová noha sice lze otočně zasunout o 90° (podobně jako u VUT100 s přečínajícím kolem pod obrys trupu), ale noha hlavního podvozků lze zasunout pouze o 25° z důvodu kolize tlumiče s hlavním nosníkem centroplánu.

³V návrhu je použita pouze přibližná podoba motorového lože. Při pevnostní kontrole musí být pruty kontrolovány zejména na vzpěr. Nevýhodou je rovněž potřeba přesného svařovacího přípravku pro takto složitý svařenec.

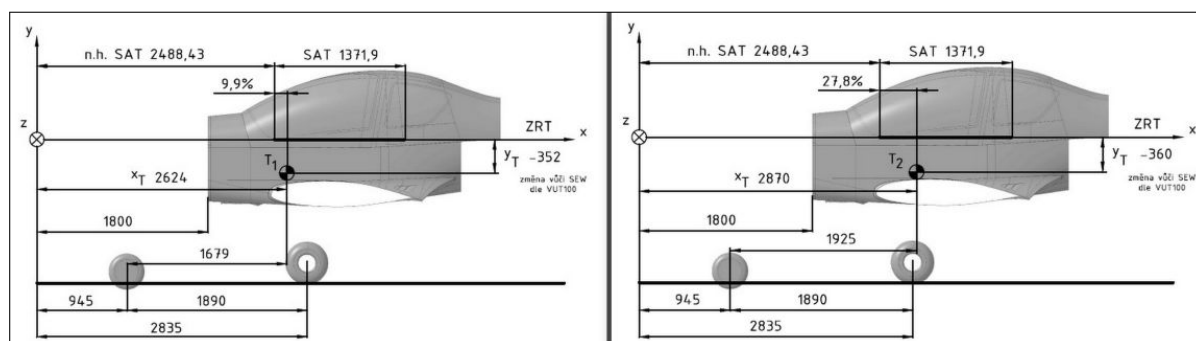
3.1.3 Varianta konstrukčního řešení 2

Pro lepší zatažení hlavní podvozkové nohy doporučuji nohu uložit níže. Nová výšková poloha nohy má za následek novou polohu těžiště letounu, nárůst výšky letounu s vysunutým podvozkem, změnu rozvoru a v neposlední řadě rovněž novou vertikální polohu příďové nohy. Nové hodnoty polohy těžiště přehledně uvádějí tabulky v Příloze 1, postup je analogický ve všech variantách konstrukčního řešení.

V důsledku specifického vedení sacího potrubí od turba a nové vertikální polohy nohy lze hlavní podvozkovou nohu předstoupit vpřed o dalších 70 mm , tj. o 390 mm vůči původnímu návrhu. Ve vertikální poloze je noha uložena o 150 mm níže. Nová hodnota rozvoru je podle výpočtu stability proti převracení 1601 milimetrů^4 , proto uvažuji hodnotu 1890 milimetrů z požadavku podélné stability.



Obrázek 3.5: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 2



Obrázek 3.6: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 2

Se změnou polohy obou podvozků dochází ke změně polohy těžiště přistávacího zařízení i v zasunutém stavu. Při řešení vertikální polohy těžiště jednotlivých hmotnostních položek respektuji původní návrh dokumentu [29] s přihlédnutím ke změně -150 mm v uložení nohy.

⁴Do výpočtu rozvoru vstupují údaje o poloze těžiště, které jsou získány výpočtem těžiště s původním rozvorem (1681 mm) stejně jako v předchozím případě. (Aby byla hodnota rozvoru zachována, byla příďová noha v původním výpočtu rovněž přesunuta o 390 mm vpřed.) Zmiňovaný iterační přístup uplatňuji shodně u všech diskutovaných řešení.

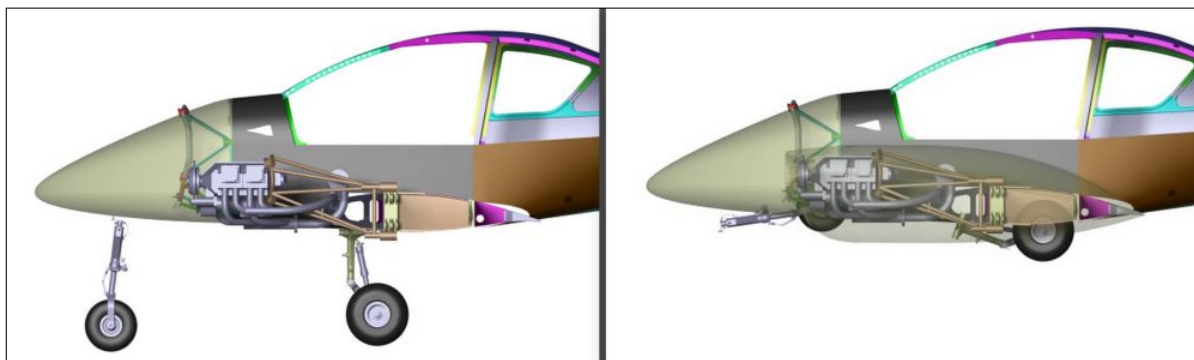
Poloha těžiště v % SAT - shrnutí

Hmotnostní konfigurace	Podvozek		Změna
	Vysunutý	Zasunutý	
Prázdný	7,7	9,3	1,6
1	9,9	11,4	1,5
22a	27,8	28,9	1,1

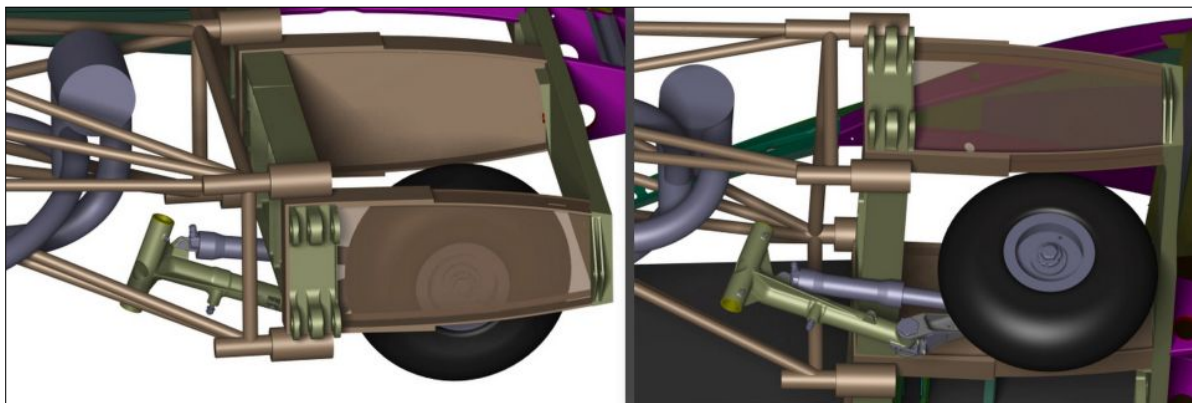
Tabulka 3.10: Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 2

Konstrukce

V tomto řešení lze podvozkovou nohu otočně zatahnout o 70 stupňů, při volbě vhodného zakrytování tak lze uvažovat částečné zatažení s částečným zakrytováním. Stejně jako v předchozím řešení tak i v tomto musí být tělo nohy konstrukčně upraveno nebo nekonvenčně uloženo tak, aby se zachovala dědičnost dílu a mohlo být použito identické tělo nohy s VUT100. Pro uložení podvozkové nohy lze rovněž využít motorového lože. Nevýhodou tohoto uspořádání je navýšení celkové výšky letounu což není vhodné pro nastupování a vystupování. Uložení původní příďové nohy 92 mm pod spodním obrysem příďové části není příliš vhodné z hlediska aerodynamické čistoty letounu, noha musí být pro uspokojivé zatažení zasunuta o 105 stupňů. Řešením je nový návrh příďové nohy. Logická je větší změna polohy těžiště letounu při zatažení podvozku. Značnou nevýhodou tohoto řešení je poloha těžiště letounu v podélné ose v jeho zadní krajní poloze za hlavním podvozkem, což znemožňuje použití tohoto řešení. Pro ilustraci změny polohy příďové nohy je do obrázku 3.7 zařazeno motorové lože z VUT100.



Obrázek 3.7: Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 2 (se změnou vertikální polohy uložení)



Obrázek 3.8: Zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 2

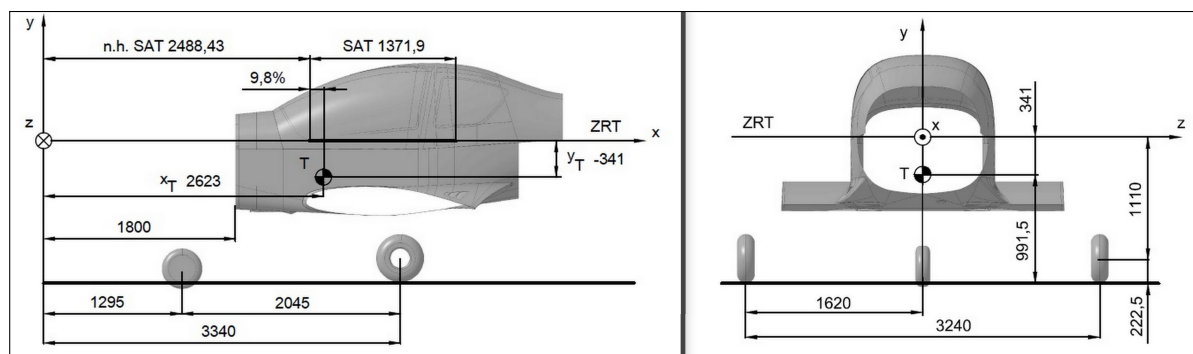
3.2 Uspořádání 2

Hlavní podvozková noha je uložena mezi oběma nosníky, v zataženém stavu vyplňuje prostor za pomocným nosníkem.

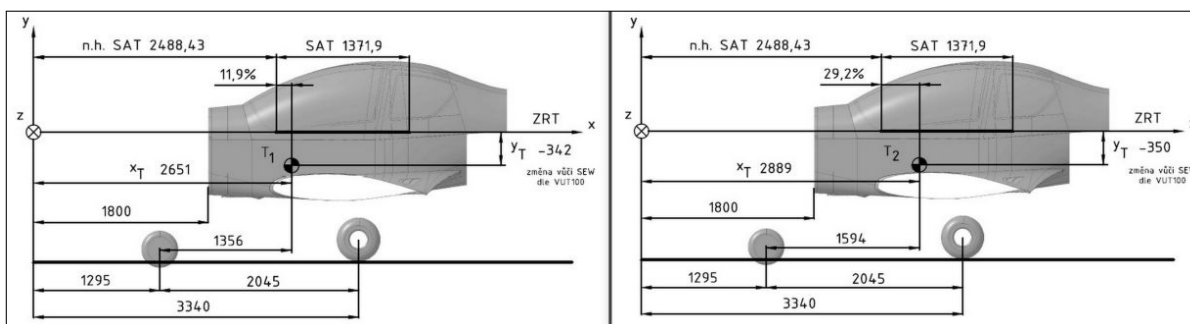
3.2.1 Varianta konstrukčního řešení 3

Hlavní podvozková noha je přemístěna o 115 mm vzad oproti původnímu návrhu VUT200 dokumentu [29], vertikální poloha nohy je zachována.

Vlivem větší vzdálenosti těžiště od hlavního podvozku narostl rozvor na hodnotu 2045 milimetrů.



Obrázek 3.9: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 3



Obrázek 3.10: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 3

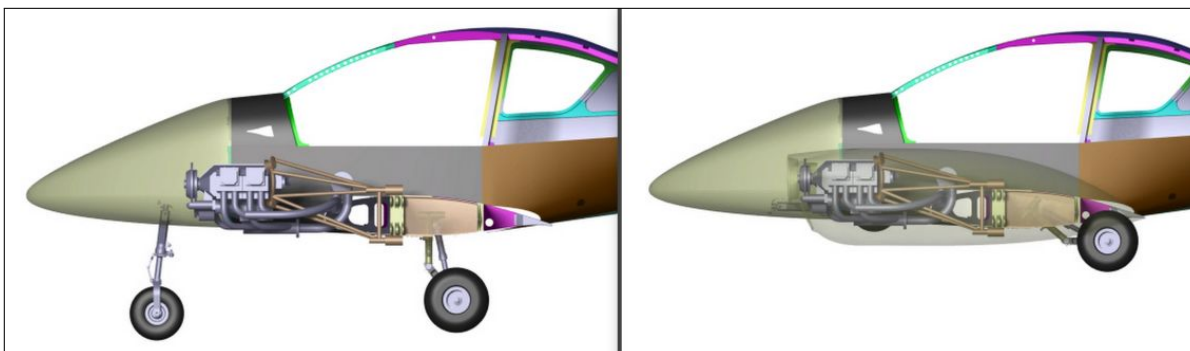
Poloha těžiště v % SAT - shrnutí

Hmotnostní konfigurace	Podvozek		Změna
	Vysunutý	Zasunutý	
Prázdný	9,8	11,4	1,6
1	11,9	13,4	1,5
22a	29,2	30,3	1,1

Tabulka 3.11: Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 3

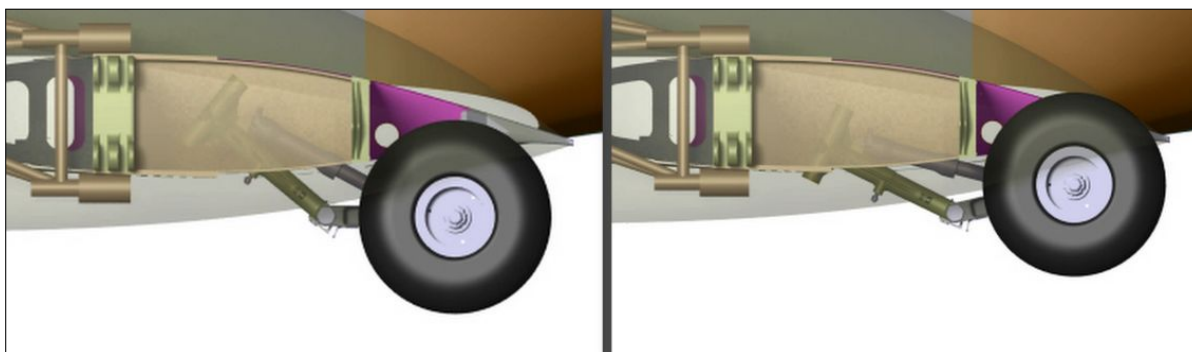
Konstrukce

Nyní lze hlavní podvozkovou nohu zatáhnout o 50° . Stejně jako v předchozích případech musí být podvozková noha upravena a nebo nekonvenčně uložena, protože je uzpůsobena pro příčné zatahování. Pro uložení nohy lze využít sestavy zesílených žeber nesoucí motorové lože a šikmého žebra obdobně jako u VUT100. Příďová podvozková noha je zatahována o 90 stupňů po směru letu. Dalším navýšením rozvoru přibližně o 500 mm by noha v zataženém stavu nenarušovala první trupovou přepážku⁵. Výhodou řešení může být zjednodušení motorového lože a z provozního hlediska lepší prostorový přístup k motoru v jeho zadní části vzhledem k výkonu údržbových prací.



Obrázek 3.11: Vysunutý a zasunutý podvozek se zachováním varianty konstrukčního řešení 3 (původní vertikální polohy)

⁵Vyšší hodnota rozvoru přispívá k větší stabilitě letounu při pojíždění.

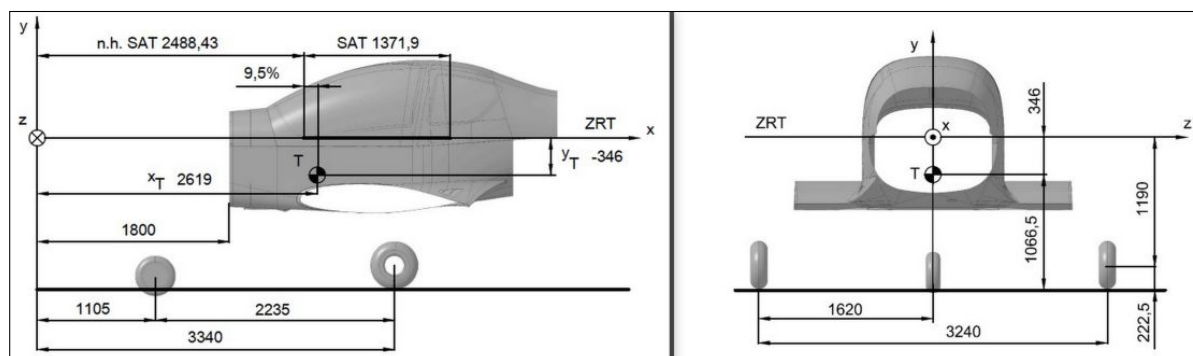


Obrázek 3.12: Polohy zasunuté hlavní podvozkové nohy v obou řešení uspořádání 2

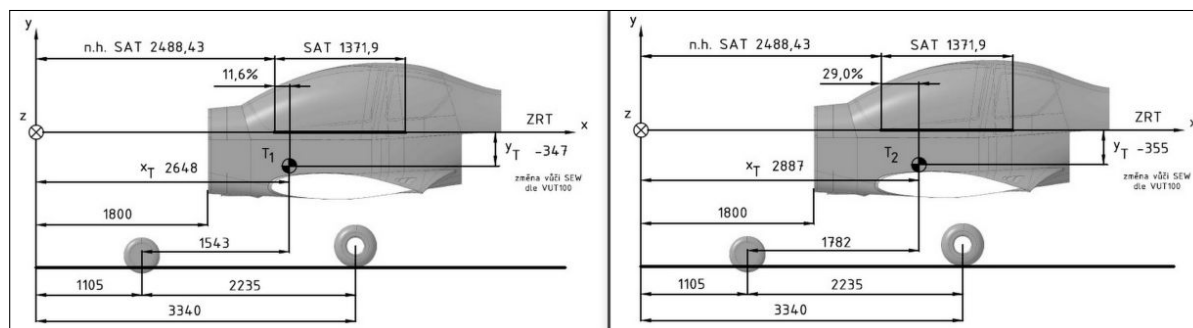
3.2.2 Varianta konstrukčního řešení 4

Jako v předchozím případě i v tomto je pro lepší zatažení vhodné uložit podvozkovou nohu níže.

Podvozek je v tomto řešení uložen o 80 mm níže, horizontální poloha je zachována. Nová hodnota rozvoru je 2235 milimetrů.



Obrázek 3.13: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4



Obrázek 3.14: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4

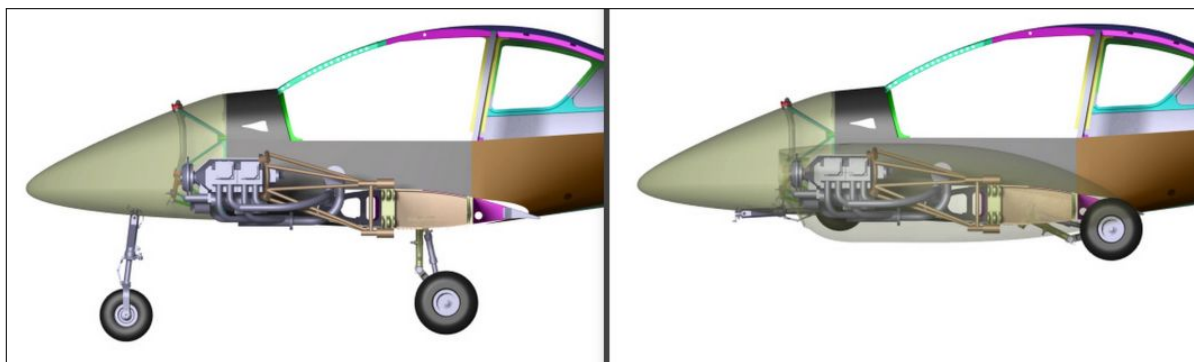
Poloha těžiště v % SAT - shrnutí

Hmotnostní konfigurace	Podvozek		Změna
	Vysunutý	Zasunutý	
Prázdný	9,5	11,2	1,7
1	11,6	13,1	1,5
22a	29,0	30,1	1,1

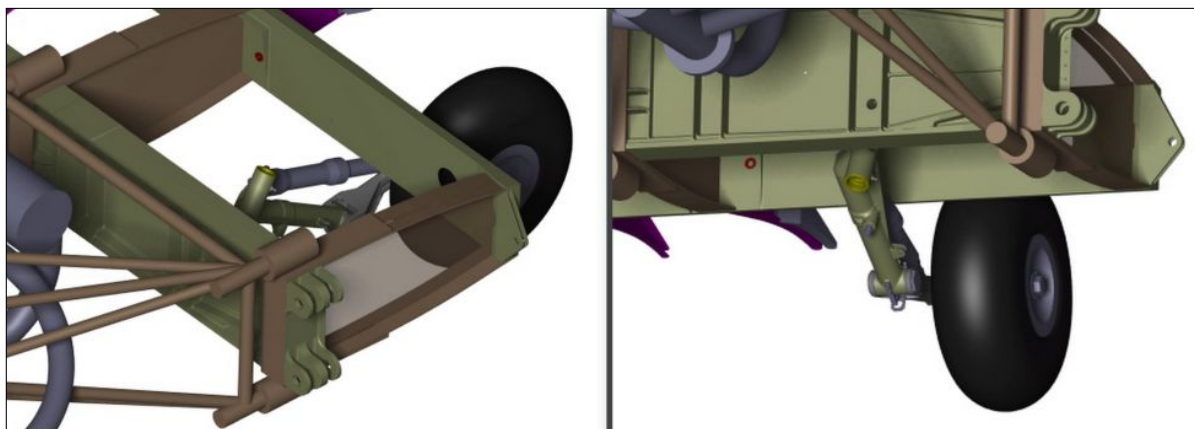
Tabulka 3.12: Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 4

Konstrukce

V druhém řešení lze hlavní podvozkovou nohu zatáhnout o 64° , příďová noha musí být zatažena o 105 stupňů pro uspokojivé částečné zatažení. Výhodou řešení oproti předchozímu je poloha těžiště letounu při zasunutém podvozku, vypočtený rozvor umožňuje zasunutí příďové nohy bez narušení trupové přepážky. Nevýhodou je nárůst výšky letounu a uložení původní příďové podvozkové nohy 16 mm pod obrysem příďové části letounu. Do obrázku 3.15 je pro ilustraci změny polohy příďové nohy vloženo motorové lože VUT100.



Obrázek 3.15: Vysunutý a zasunutý podvozek se změnou vertikální polohy uložení II



Obrázek 3.16: Detail zasunuté podvozkové nohy v druhém řešení

Ponechána bílá strana.

4 Zatahování hlavního podvozku podélně proti směru letu

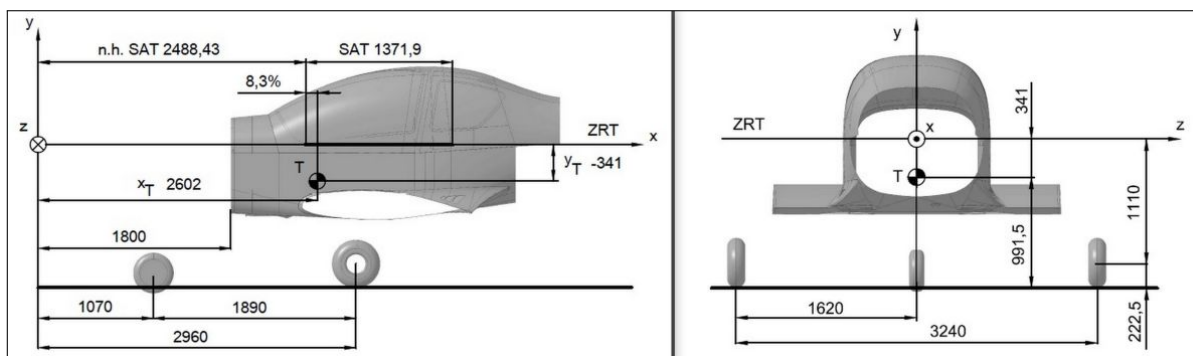
Pro podélné zatahování hlavního podvozku proti směru letu uvažují dvě uspořádání obdobně jako pro předcházející zatahování po směru letu.

4.1 Uspořádání 3

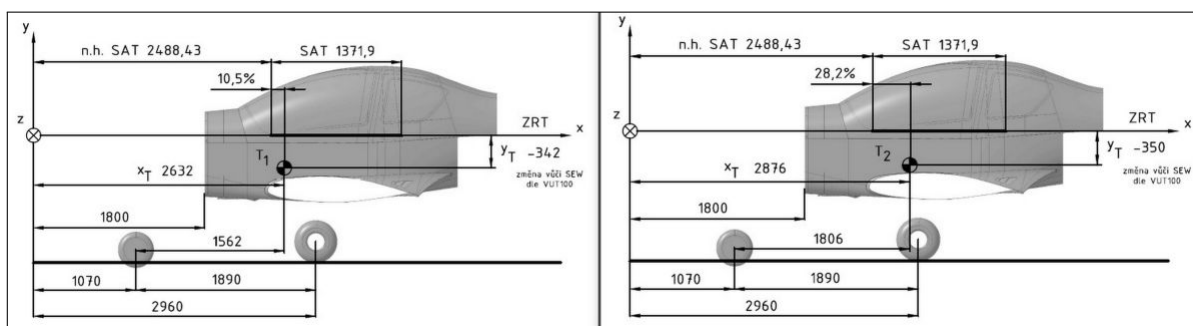
Hlavní podvozková noha je uložena před hlavním nosníkem, v zataženém stavu vyplňuje prostor pod motorem.

4.1.1 Varianta konstrukčního řešení 5

Hlavní podvozková noha je přemístěna o 265 mm vpřed oproti původnímu návrhu VUT200 dokumentu [29], vertikální poloha nohy je zachována. Délka podvozku z podmínky stability proti převracení činí 1453 mm , proto uvažují hodnotu 1890 milimetrů z podmínky pro podélnou stabilitu.



Obrázek 4.1: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 5



Obrázek 4.2: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 5

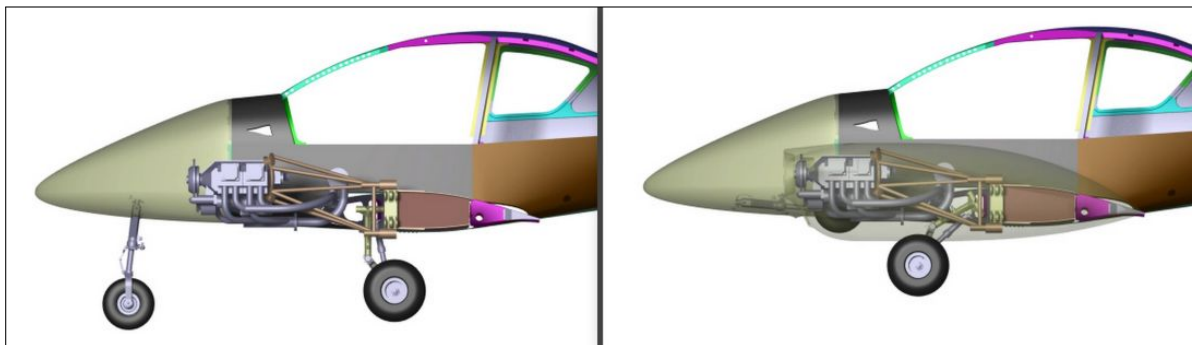
Poloha těžiště v % SAT - shrnutí

Hmotnostní konfigurace	Podvozek		Změna
	Vysunutý	Zasunutý	
Prázdný	8,3	8,1	-0,2
1	10,5	10,3	-0,2
22a	28,2	28,1	-0,1

Tabulka 4.1: Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 5

Konstrukce

V prvním řešení tohoto uspořádání lze hlavní podvozkovou nohu otočně zatáhnout proti směru letu o 60° , přesto se nejedná o uspokojivé řešení, podvozkové kolo výrazně narušuje aerodynamickou čistotu letounu. Příďová noha lze standardně zasunout o 90 stupňů po směru letu. Aby noha nenarušovala trupovou přepážku, musel by být navýšen rozvor o 230 mm , případně by noha musela být zatahována proti směru letu, což není z aerodynamického hlediska vhodné. Příďové kolo potom přesahuje obrys trupu v samotné přídi letounu.



Obrázek 4.3: Vysunutý a zasunutý podvozek se zachováním původní vertikální polohy III

4.1.2 Varianta konstrukčního řešení 6

Pro lepší zatažení hlavní podvozkové nohy je vhodné pozměnit rozchod podvozku, protože noha při zasouvání koliduje s potrubím turba. Vyosením uložení podvozkové nohy mimo toto potrubí lze nohu zatáhnout do bočního prostoru k potrubí. Změnou rozchodu dochází ke změně rozvoru, který stanovuje novou polohu těžiště. Nová hodnota rozchodu z pohledu co nejvýhodnějšího zatažení je 3580 mm . Hodnota rozvoru se z podmínky proti převrácení snížila na 1383 mm , pro délku podvozku tedy používám hodnotu 1890 mm z podmínky podélné stability. Poloha těžiště letounu s vysunutým podvozkiem je identická s předchozím řešením. Hodnoty se liší pouze v poloze se zasunutým podvozkiem, protože lze hlavní podvozek úplněji zatáhnout.

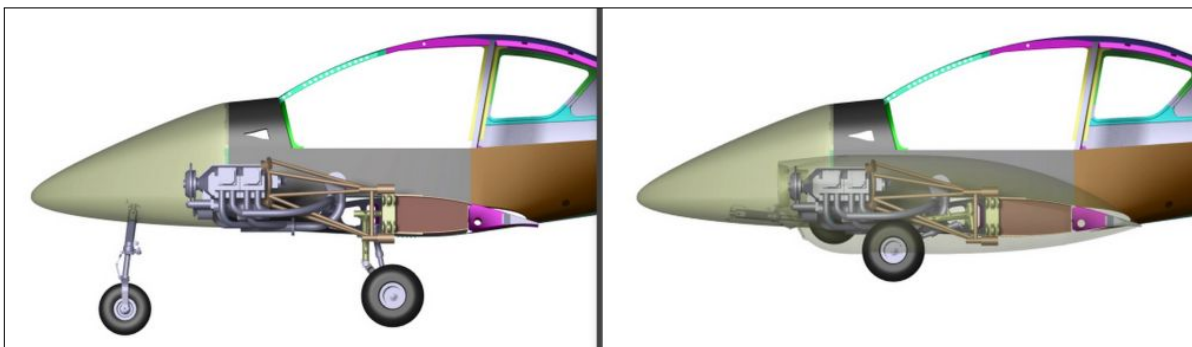
Poloha těžiště v % SAT - shrnutí

Hmotnostní konfigurace	Podvozek		Změna
	Vysunutý	Zasunutý	
Prázdný	8,3	7,6	-0,7
1	10,5	9,8	-0,7
22a	28,2	27,8	-0,4

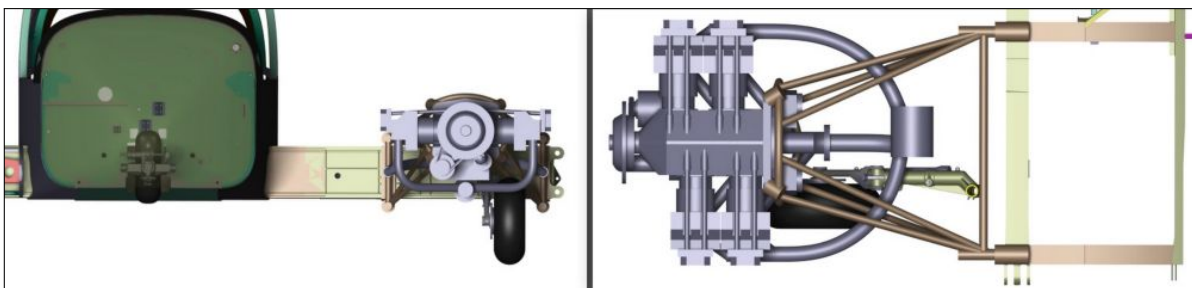
Tabulka 4.2: Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 6

Konstrukce

Změnou rozchodu lze hlavní podvozkovou nohu zatáhnout téměř o 85°. Výhodou tohoto řešení je výhodnější nouzové vysunutí hlavního podvozku, kdy dynamický tlak nabíhajícího proudu napomáhá vysunutí. Nevýhodou je omezený prostor pro zatahovací mechanismus a z hlediska údržby špatný přístup k zadní části motoru. Protože je model motoru (respektive turba a rozváděcího potrubí) díky nedostatku podkladů pouze přibližný, jedná se pouze o orientační řešení. Rovněž je důležitá finální podoba motorového lože.



Obrázek 4.4: Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 6 (se změnou rozchodu hlavního podvozku)



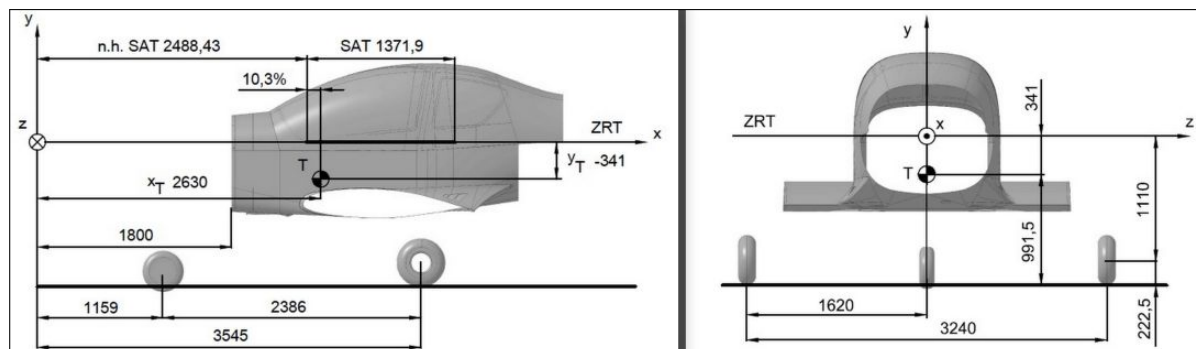
Obrázek 4.5: Zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 6

4.2 Uspořádání 4

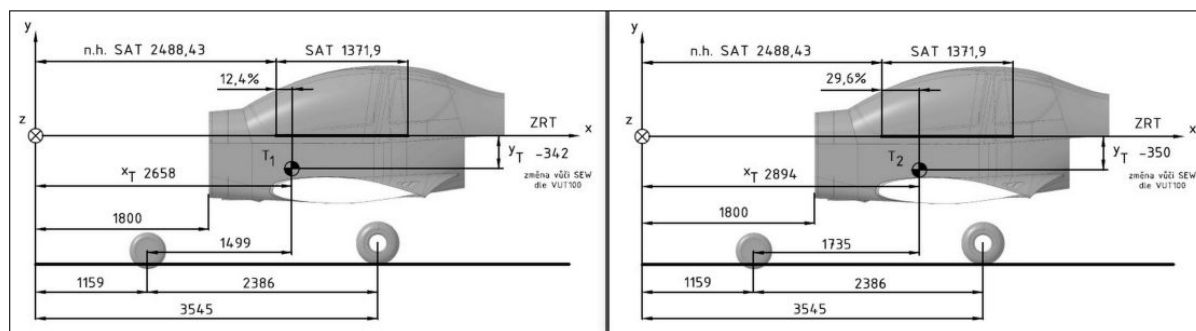
Hlavní podvozková noha je uložena mezi oběma nosníky, v zataženém stavu vyplňuje prostor pod a před hlavním nosníkem.

4.2.1 Varianta konstrukčního řešení 7

Hlavní podvozková noha je přemístěna o 320 mm vzad oproti původnímu návrhu VUT200 dokumentu [29], vertikální poloha nohy je zachována. Hodnota rozvoru je 2386 milimetrů.



Obrázek 4.6: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7



Obrázek 4.7: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7

Poloha těžiště v % SAT - shrnutí

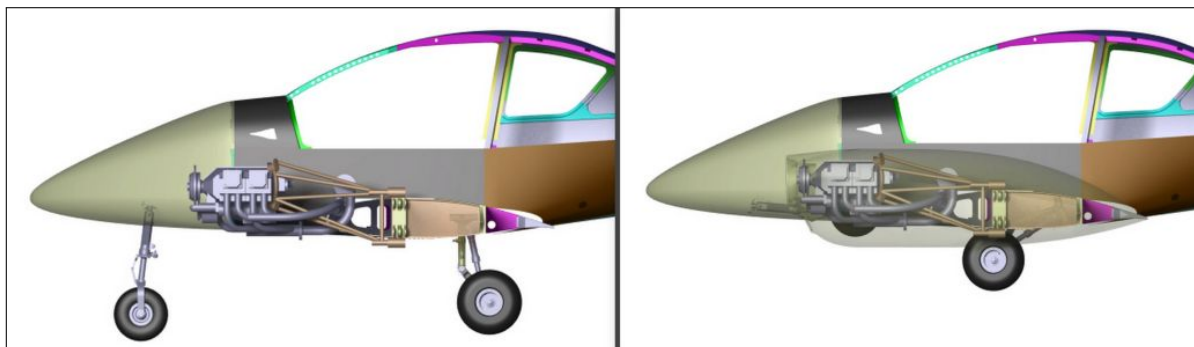
Hmotnostní konfigurace	Podvozek		Změna
	Vysunutý	Zasunutý	
Prázdný	10,3	10,0	-0,3
1	12,4	12,1	-0,3
22a	29,6	29,4	-0,2

Tabulka 4.3: Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 7

Konstrukce

V tomto řešení lze hlavní podvozkovou nohu otočně zasunout o 70° proti směru letu, přesto se nejedná o uspokojivé řešení, podvozkové kolo výrazně narušuje aerodynamickou čistotu letounu. Příďová podvozková noha lze zatáhnout standardně po směru letu. Výhodou je malá změna polohy těžiště letounu při zasouvání podvozku, uložení nohy mezi oběma

nosníky umožňuje zachování dostatečného prostoru v zadní části motoru i dostatečný prostor pro zasouvací mechanismus.

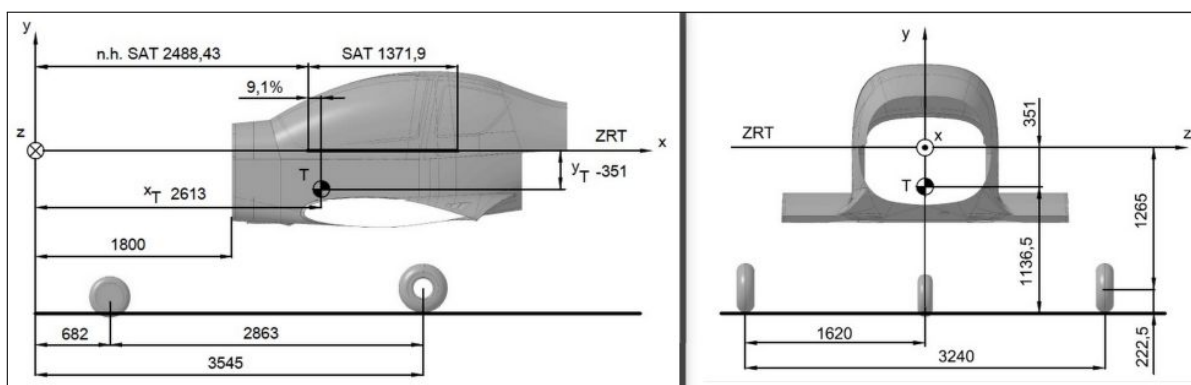


Obrázek 4.8: Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 7 (se zachováním původní vertikální polohy)

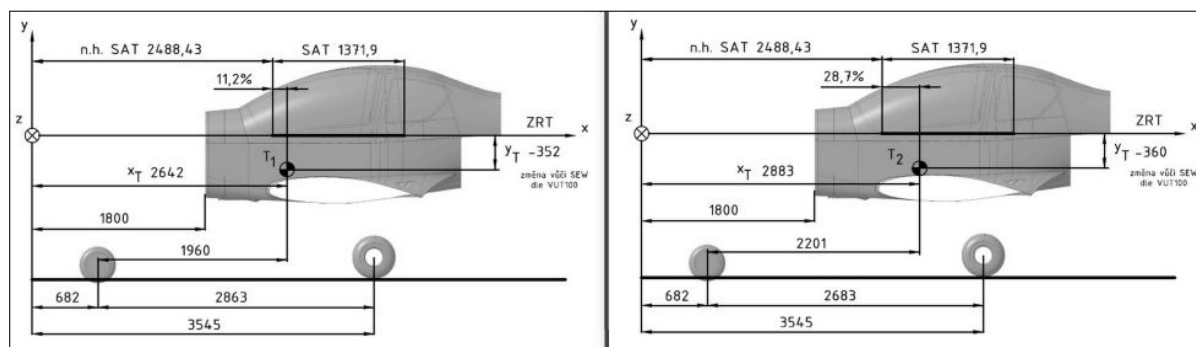
4.2.2 Varianta konstrukčního řešení 8

Obdobně jako v jiných uspořádání je pro lepší zatažení vhodné uložit hlavní podvozkovou nohu níže.

Podvozek je v tomto řešení uložen o 155 mm níže, horizontální poloha je zachována. Nová hodnota rozvoru je 2863 milimetrů, rozvor narostl zejména v důsledku nárůstu celkové výšky těžiště letounu.



Obrázek 4.9: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 8



Obrázek 4.10: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 8

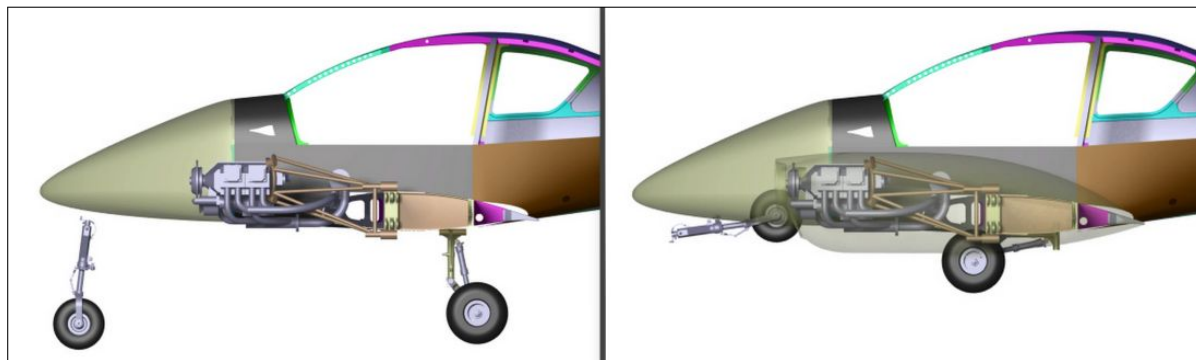
Poloha těžiště v % SAT - shrnutí

Hmotnostní konfigurace	Podvozek		Změna
	Vysunutý	Zasunutý	
Prázdný	9,1	9,1	0
1	11,2	11,2	0
22a	28,7	28,7	0

Tabulka 4.4: Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozkem varianty konstrukčního řešení 8

Konstrukce

Změna uložení dovoluje hlavní podvozkovou nohu otočit o 90° , žádoucí efekt je pouze minimální. Nevýhodou je výrazný nárůst celkové výšky letounu. Výhodami jsou vypočtený rozvor, kdy příďová noha v zataženém stavu nenarušuje trupovou přepážku, a stálá poloha těžiště při zasouvání podvozku.



Obrázek 4.11: Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 8 (se změnou vertikální polohy uložení)

5 Zatahování hlavního podvozku příčně

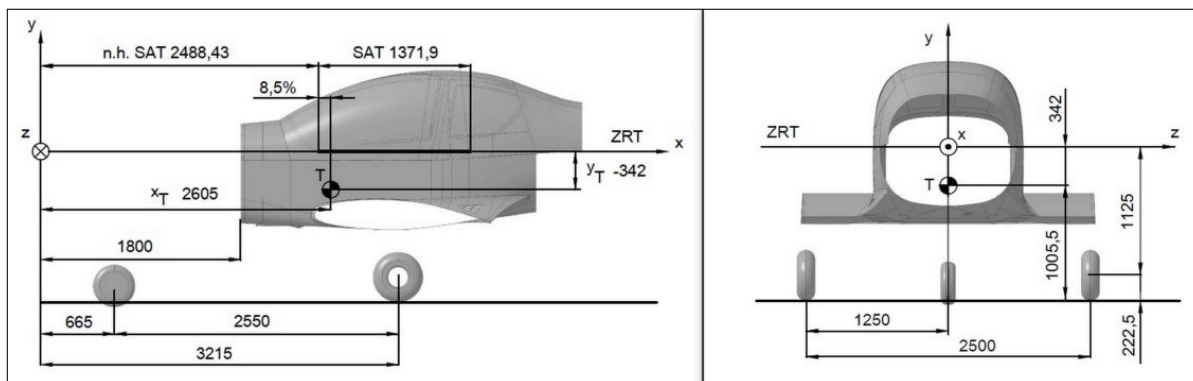
Koncepce konstrukčního projektu rodiny letounů VUT100 předpokládá s maximální příbuzností a dědičností jednotlivých modelů rodiny, proto vybízí k možnosti zachování stávajícího způsobu zatahování do centroplánu směrem k ose souměrnosti letounu. Výhodou varianty je její ekonomičnost, kdy díly zatahovacího mechanismu a samotné podvozkové nohy by v rodině mohly být zaměnitelné. Podobný postup při konstrukci byl v minulosti rovněž úspěšně uplatněn ve výrobní řadě amerického Piperu. Variantu zasouvání směrem od osy souměrnosti letounu z návrhu vylučují.

5.1 Uspořádání 5

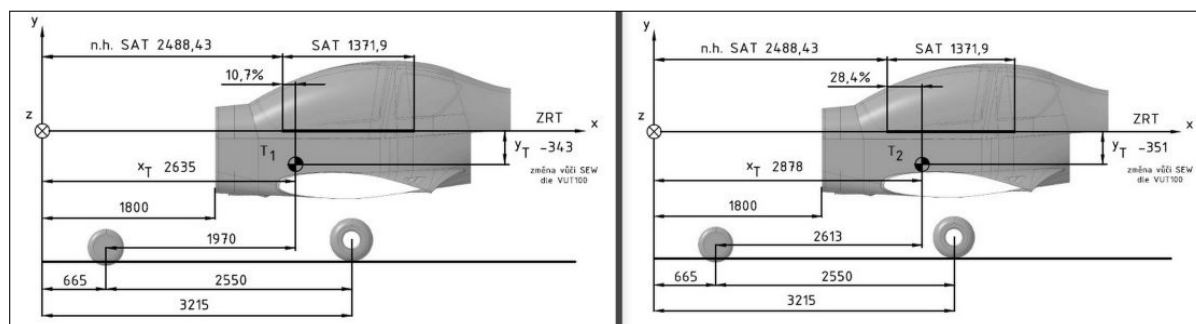
Varianta konstrukčního řešení 9

Poloha hlavní podvozkové nohy je podobná s VUT100. Hodnota rozchodu je závislá na poloze vnitřního nosného žebra motorového lože a činí 2500 mm . Délka podvozku je 2550 mm z podmínky proti převrácení při pojíždění.

Hlavní podvozková noha je přemístěna o 10 mm vpřed vůči původnímu návrhu dokumentu Rozbor hmotností a centrál [29]. V horizontální poloze je noha posazena o 15 milimetrů níže tak, aby poloha nohy odpovídala VUT100 a mohl být zachován systém uložení nohy v hlavním nosníku včetně systému zatahovacího mechanismu.



Obrázek 5.1: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9



Obrázek 5.2: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9

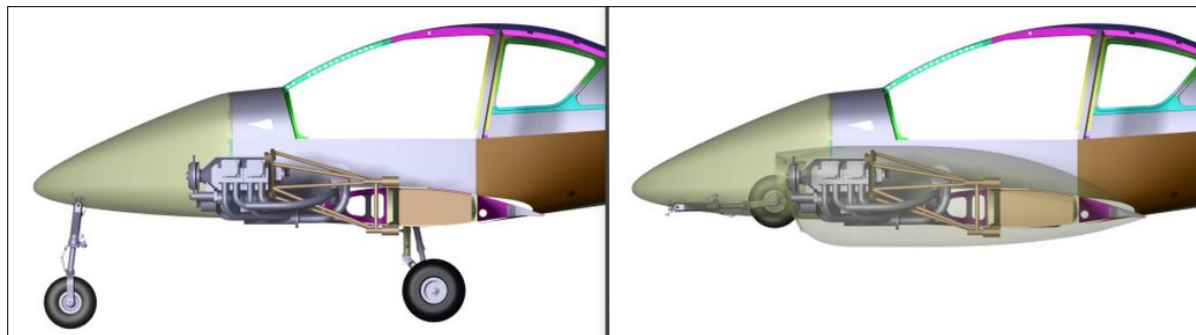
Poloha těžiště v % SAT - shrnutí

Hmotnostní konfigurace	Podvozek		Změna
	Vysunutý	Zasunutý	
Prázdný	8,5	9,0	0,5
1	10,7	11,1	0,4
22a	28,4	28,7	0,3

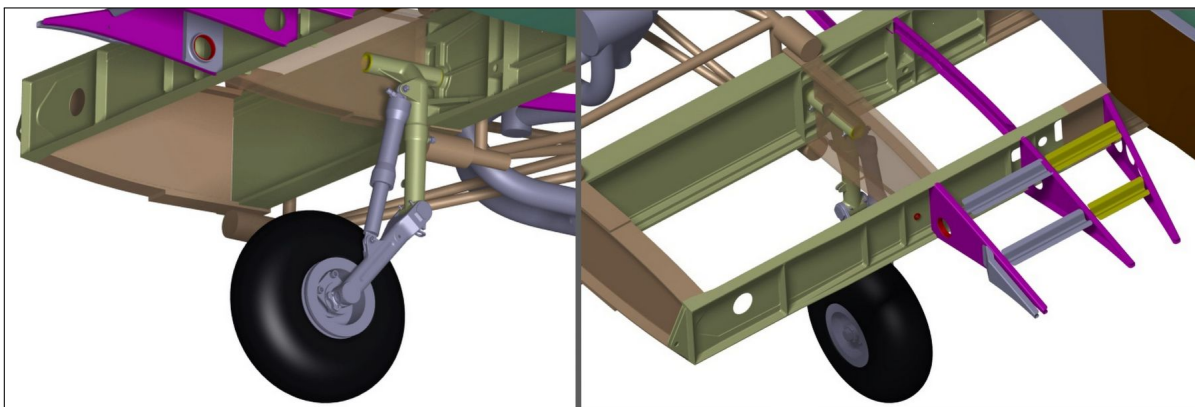
Tabulka 5.1: Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozkem varianty konstrukčního řešení 9

Konstrukce

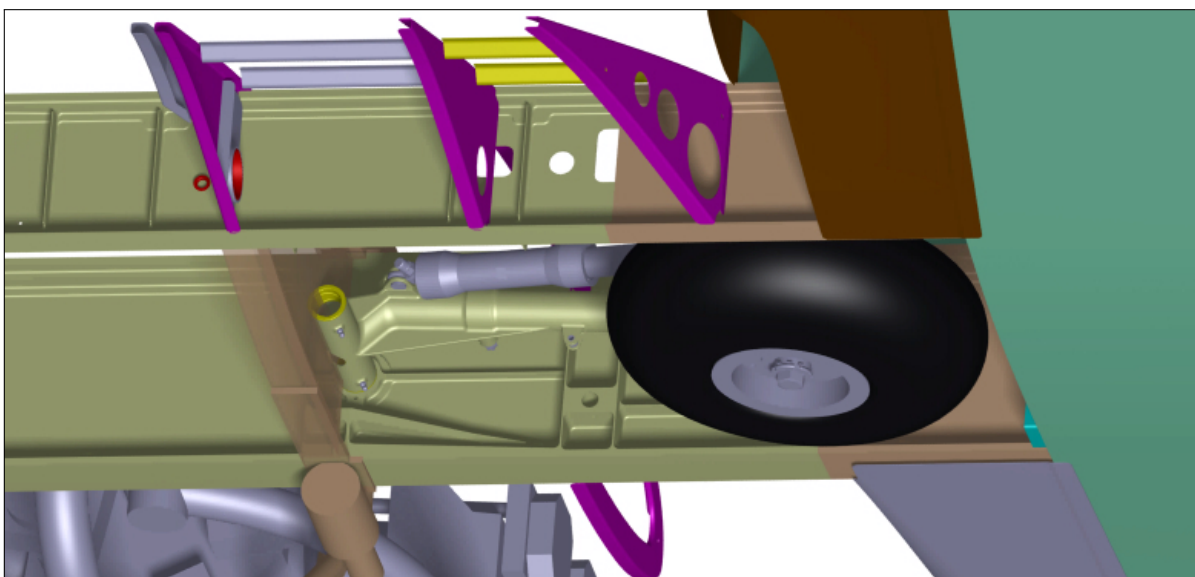
Toto uspořádání umožňuje zcela zasunout hlavní podvozkovou nohu obdobně jako v případě VUT100. Zesílené žebro lze využít pro uložení podvozkové nohy, která je uložena zevnitř vnitřního žebra motorového lože. Může být použit stávající zatahovací mechanismus VUT100. Zasouvání příďové nohy je téměř identické s VUT100, mírnou nevýhodou je její uložení na hranici spodního obrysu příďe díky nárůstu rozvoru. Řešením je posazení celého PZ výše o cca 15 mm (dojde ke změně polohy těžiště, která determinuje hodnotu rozvoru - dojde k jeho snížení a k lepšímu umístění nohy díky svažující se přídi), což ale znamená změnu vnitřního uspořádání hlavního nosníku. Dalším řešením je jiný návrh tvaru příďe, který by ve své spodní části zachoval téměř přímý tvar (z bokorysu).



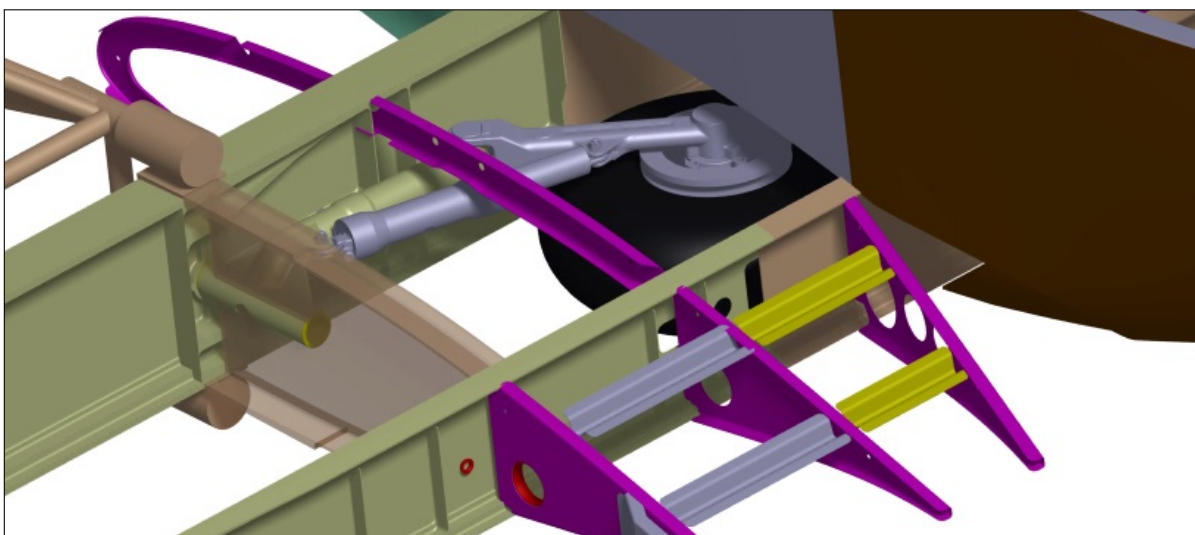
Obrázek 5.3: Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 9 (vertikální poloha podle VUT100)



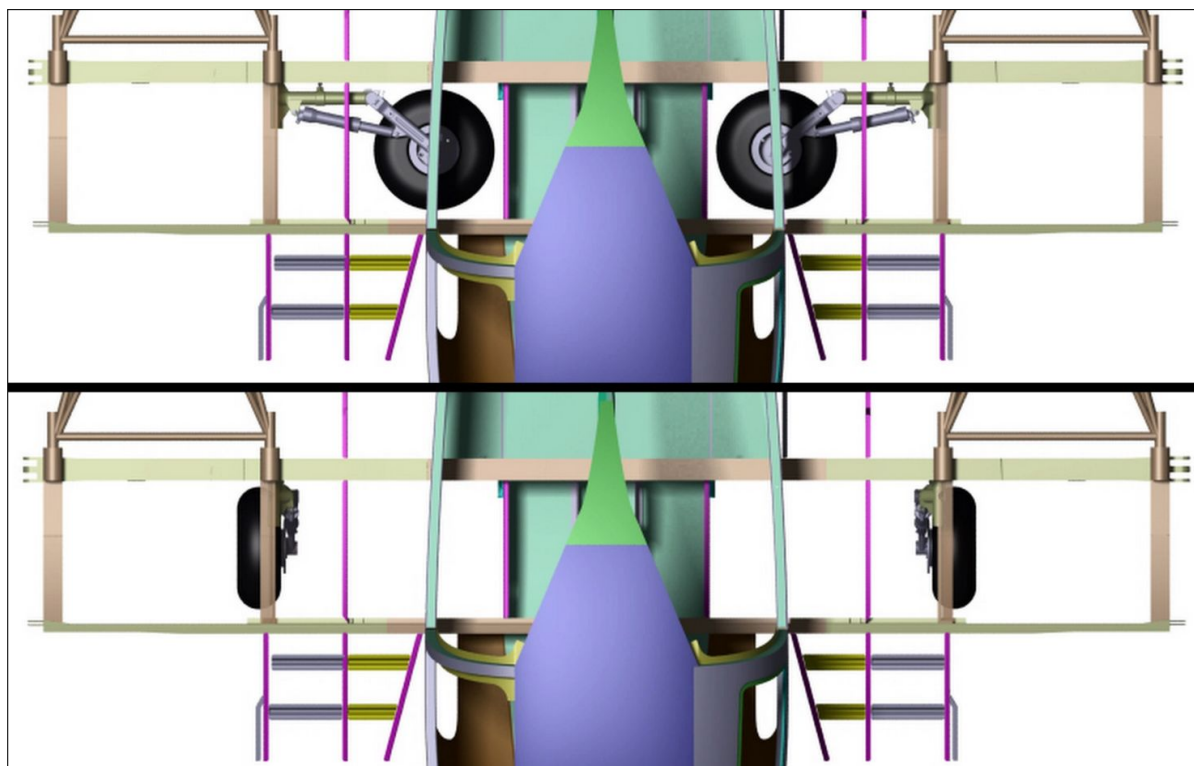
Obrázek 5.4: Vysunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 9



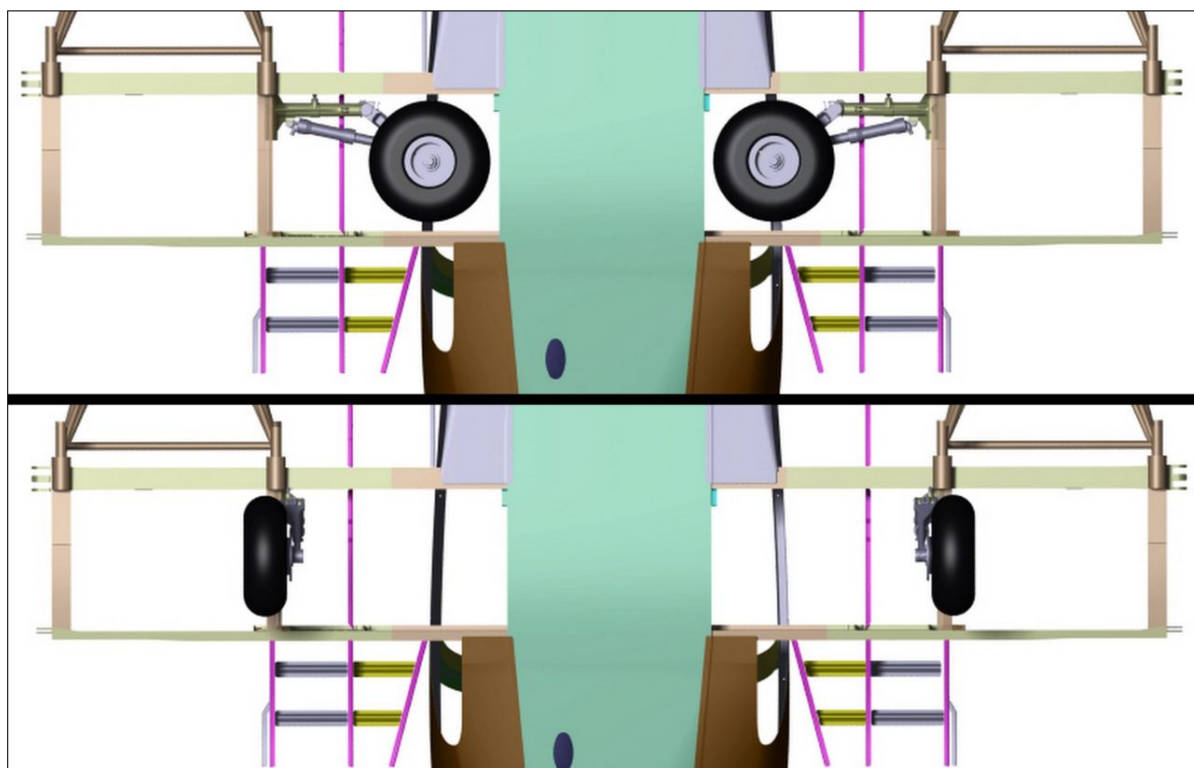
Obrázek 5.5: Zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 9 I



Obrázek 5.6: Zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 9 II



Obrázek 5.7: Vysunutá a zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 9 v pohledu shora



Obrázek 5.8: Vysunutá a zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 9 ve spodním pohledu

6 Výběr varianty konstrukčního řešení

Výběr výsledné varianty konstrukčního řešení proběhl po diskuzi s výrobcem letounu společností Evektor zastoupenou vedoucím projektu rodiny VUT100 panem Ing. Sejbalem. Prioritou při výběru návrhu je zachování konstrukční a technologické dědičnosti jednotlivých letounů, která je jedním z identifikátorů řady VUT100, proto se uvažuje použití stávajícího přistávacího zařízení. Dospěli jsme k těmto závěrům.

Uspořádání 1

Zatahování hlavního podvozku podélně směru letu. Mezi hlavní nevýhody všech variant podélného zatahování patří uzpůsobení stávající podvozkové nohy pro příčné zatahování. Hlavní podvozková noha je uložena před hlavním nosníkem. Mezi jednu z výhod umístění nohy před hlavním nosníkem patří využití motorového lože k uložení nohy.

Varianta konstrukčního řešení 1

Umístění hlavní podvozkové nohy před hlavním nosníkem není dobrá úvaha z hlediska polohy těžiště letounu, v tomto případě je však poloha těžiště vyhovující. Ve svém návrhu uvažuji původní výškovou polohu nohy uvedenou v dokumentu Rozbor hmotností a center [29], která pro tento způsob zatahování bohužel není vhodná. Podvozkovou nohu lze po směru letu otočně zatáhnout o pouhých 25 stupňů, potom koliduje tlumič s hlavním nosníkem. Tato varianta je vyloučena, protože nesplňuje základní kritérium na alespoň částečné zatažení podvozku. Abych docílil lepšího zatažení, umísťuji nohu níže - varianta konstrukčního řešení 2.

Varianta konstrukčního řešení 2

Noha je oproti předchozí variantě uložena níže, proto lze lépe zatáhnout - až o 70 stupňů a splňuje požadavek na částečné zatažení podvozku. Mezi nevýhody patří nárůst výšky letounu a uložení stávající příďové nohy pod spodním obrysem příďe letounu, proto je nutný nový návrh příďové podvozkové nohy nebo uložení nohy, které odporuje aerodynamické čistotě letounu. Výhodou je podélná poloha uložení příďové nohy, která v zataženém stavu nenarušuje trupovou přepážku. Návrh je vyloučen díky nepřijatelné poloze těžiště letounu v konfiguraci 22a v podélném směru za hlavním podvozkem.

Uspořádání 2

Zatahování hlavního podvozku podélně po směru letu. Hlavní podvozková noha je uložena mezi oběma nosníky. Výhodou pro uložení nohy mezi oběma nosníky může být dostatečný prostor pro zatahovací mechanismus, využití zesílených žeber motorového lože k uložení

nohy, dostatečný prostor v zadní části motoru pro výkon práce údržby a dostatečná zásoba polohy těžiště v podélném směru.

Varianta konstrukčního řešení 3

Podvozkovou nohu lze zatáhnout o 50° , kolo je přibližně ze 75 procent svého průměru mimo obrys gondoly, což není z aerodynamického hlediska vhodné. Výhodu může znamenat zachování původní vertikální polohy podle dokumentu [29]. Zejména z důvodu nutnosti nového návrhu podvozkové nohy v její horní části, která by byla uzpůsobena pro podélné zatahování, je od návrhu upuštěno.

Varianta konstrukčního řešení 4

Ačkoliv lze nohu v této variantě zatáhnout o 64 stupňů (kolo ve spodní části přesahuje obrys gondoly přibližně o 60% průměru kola), není dále uvažována přes převažující nevýhody. Mezi ty se řadí nárůst výšky letounu a nevhodné uložení příďové nohy pod obrysem příďe. Nevýhodou je i narušení trupové přepážky příďovým kolem.

Uspořádání 3

Zatahování hlavního podvozku podélně proti směru letu. Hlavní podvozková noha je uložena před hlavním nosníkem. Výhodou může být využití motorového lože pro uložení podvozkové nohy, nevýhodou pak omezený prostor pro zatahovací mechanismus a špatný přístup k motoru v jeho zadní části.

Varianta konstrukčního řešení 5

V této variantě respektuji původní výškovou polohu nohy, poloha těžiště je krajně vyhovující. Výhodou je i malá změna polohy těžiště při zasouvání podvozku. Hlavní nevýhodou zůstává celé podvozkové kolo mimo obrys motorové gondoly po jeho otočení o 60 stupňů proti směru letu, kdy koliduje tělo podvozkové nohy s rozváděcím potrubím od turba. Varianta je zamítnuta.

Varianta konstrukčního řešení 6

Pro lepší zatažení je navýšen rozvor tak, aby noha nekolidovala s motorovým ústrojím. Tímto opatřením dochází k lepšímu zatažení podvozkové nohy, která lze otočně zatáhnout o 85 stupňů proti směru letu. Výhodou je zachování původní vertikální polohy a lepší zatažení podvozkové nohy, která přesahuje poloměrem podvozkového kola obrys motorové gondoly. Hlavní nevýhodou je stísněný prostor pro zatahovací mechanismus a zmíněné uzpůsobení nohy pro příčné zatahování, proto je od návrhu upuštěno.

Uspořádání 4

Zatahování hlavního podvozku podélně proti směru letu. Hlavní podvozková noha je uložena mezi oběma nosníky, platí zmíněné výhody pro uložení nohy mezi nosníky z uspořádání 2.

Varianta konstrukčního řešení 7

V této variantě lze podvozkovou nohu zatáhnout proti směru letu o 70° , potom koliduje kolo s hlavním nosníkem centroplánu. Výhodou tohoto řešení je malá změna těžiště při zasouvání podvozku a zachování původní vertikální polohy. Hlavní nevýhodou zůstává výrazný přesah kola pod spodním obrysem motorové gondoly. Varianta nebude použita.

Varianta konstrukčního řešení 8

Pro lepší zatažení je noha uložena níže, nohu lze otočně zatáhnout proti směru letu o 90° stupňů. Přestože došlo ke snížení přesahu kola pod obrysem, je návrh vzhledem k nevýhodám diskutabilní (potíže s uložení příděové nohy pod obrysem, nárůst výšky letounu). Výhodou je stálá poloha těžiště při zasouvání podvozku. Použití varianty je ale vyloučeno.

Uspořádání 5

Zatahování hlavního podvozku příčně směrem k ose souměrnosti letounu. Hlavní podvozková noha je uložena mezi oběma nosníky, platí zmíněné výhody pro uložení nohy mezi nosníky z uspořádání 2.

Varianta konstrukčního řešení 9

Stávající způsob zatahování podvozku VUT100 nabízí nejvíce výhod z diskutovaných řešení. Mezi hlavní výhody, kromě výhod z uložení nohy mezi oběma nosníky, patří zachování stávající podoby zatahovacího mechanismu a zachování většiny dílců stávající podvozkové nohy. Výhodou je rovněž výšková poloha uložení noh shodná s VUT100, tj. celková výška letounu, což je výhodné pro komfortní nastupování a vystupování. Vypočtený rozvor z podmínky proti převrácení letounu při pojíždění umísťuje příděovou podvozkovou nohu vůči hlavní noze tak, že nedochází k narušení trupové přepážky zataženou příděovou nohou. Nevýhodou je uložení nohy na hranici spodního obrysu přídě. Řešením je uložení celého PZ výše do draku, ale za cenu změny systému uložení hlavní nohy. Dalším řešením může být odlišný návrh tvaru „nosu“ letounu. Příděová noha může být zatahována částečně nebo úplně podle priority zachování úložného prostoru v přídě letounu. **Tato varianta je nejen z konstrukčních, ale i ekonomických důvodů dále uvažována a podrobena výpočtu zatížení při přistání a pevnostním analýzám.**

Ponechána bílá strana.

7 Pozemní zatížení

Vzhledem k provozním stavům může být zatížení letounu a jeho částí rozděleno do dvou hlavních skupin, do letového a pozemního zatížení.

Zatížení za letu se vyznačuje hmotovými a vzdušnými silami mezi nimiž musí vždy existovat rovnováha. Pojmem hmotové síly se označuje vektorový součet vlastní tíhy a setrvačných sil vznikajících zrychleným pohybem hmoty. Pojem vzdušné síly obdobně značí vektorový součet aerodynamických sil a sil od pohonné jednotky.

Pozemní zatížení patří k největším zatížením, které vznikají na letounu. Dochází ke vzniku setrvačných sil a sil reakcí země, mezi kterými musí opět existovat rovnováha. Při přistání se uvažuje účinek vztlačové síly křídla, předpisy stanovují jeho velikost. V případě předpisu CS-23 se jedná o dvě třetiny tíhové síly letounu. [5]

Silové reakce působící na podvozkové nohy se mění zejména podle kvality přistání (rychlost klesání, úhel vychýlení podélné a příčné osy letounu). Velikost reakcí je ovlivněna také dalšími faktory jako je přistávací hmotnost letounu, tuhost tlumiče, huštění pneumatiky a povrch VPD. Z toho vyplývá, že reakce mohou působit na hlavní a příďový podvozek současně, osamoceně na hlavní podvozek nebo pouze na jedno kolo hlavního podvozku. [6, 23]

7.1 Podmínky a předpoklady pozemního zatížení (CS 23.473)

Odstavec předpisu stanovuje podmínky pro návrhovou přistávací hmotnost, rychlost klesání, provozní násobek zatížení setrvačnými silami a provozní násobek zatížení reakcí země.

Podle odrážky (b) stanovují návrhovou přistávací hmotnost na

$$W = m_{TOW} \cdot 0,95 = 1600 \cdot 0,95 = 1520 \text{ kg} = 3351,03 \text{ lb.} \quad (7.1)$$

Klesací rychlost by se podle odrážky (d) měla pohybovat v mezích $7 \text{ ft} \cdot \text{s}^{-1}$ ($2,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) až $10 \text{ ft} \cdot \text{s}^{-1}$ ($3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

$$v_y = 4,4 \cdot \left(\frac{W}{S} \right)^{0,25} = 4,4 \cdot \left(\frac{3351,03}{153,04} \right)^{0,25} = 9,52 \text{ ft} \cdot \text{s}^{-1} = 2,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \quad (7.2)$$

což je splněno.

Stanovení násobků

Násobek zatížení je definován jako poměr výsledných vzdušných nebo hmotových sil ku tíze letounu. Taktéž lze násobek zatížení definovat jako poměr zrychlení vyvolaného výslednou vzdušnou silou ku zrychlení tíže zemské. Předpis CS-23 rozeznává dva různé násobky, je to násobek zatížení setrvačnými silami a násobek zatížení reakcí země. Při stanovování

násobku zatížení v okamžiku dotyku letounu se zemí je nutno vycházet ze zákona zachování energie. Kinetická a polohová energie letounu je pohlcena přistávacím zařízením a částečně tlumena vztakovou silou křídla¹. Při výpočtu vycházím z přistání na obě kola hlavního podvozku, kolo příďového podvozku je těsně nad zemí. Protože zatížení letounu působí v jeho těžišti a reakční nárazová síla vzniká na hlavním podvozku, jedná se o případ excentrického zatížení. Pojem redukovaná hmotnost zahrnuje přepočít této excentricity s možností dosazení do známých vztahů pro výpočet jednotlivých energií. Nejprve určí poloměr setrvačnosti kolem příčné osy z [5]

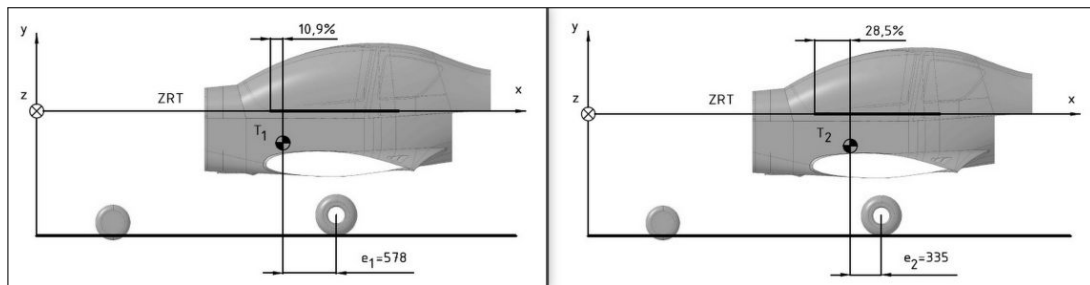
$$i_z = (0,18 - 0,22) \cdot d = 0,2 \cdot d = 0,2 \cdot 8 = 1,6 \text{ m} . \quad (7.3)$$

Využitím poloměru setrvačnosti, excentricity (obr. 7.1) a návrhové přistávací hmotnosti získávám redukovanou přistávací hmotnost pro obě krajní polohy těžiště

$$W_{red,1} = \frac{W}{1 + \left(\frac{e_1}{i_z}\right)^2} = \frac{1520}{1 + \left(\frac{0,578}{1,6}\right)^2} = 1344,5 \text{ kg} , \quad (7.4)$$

$$W_{red,2} = \frac{W}{1 + \left(\frac{e_2}{i_z}\right)^2} = \frac{1520}{1 + \left(\frac{0,335}{1,6}\right)^2} = 1456,2 \text{ kg} . \quad (7.5)$$

Pro výpočet násobků uvažuji vyšší hodnotu, tedy $W_{red,2}$, tak, aby výpočet probíhal na bezpečné straně.



Obrázek 7.1: Excentricita těžiště a hlavního podvozku

Kinetická energie přistávacího rázu je využitím redukované návrhové přistávací hmotnosti a klesací rychlosti

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot W_{red,2} \cdot v_y^2 = \frac{1}{2} \cdot 1456,2 \cdot 2,9^2 = 6123,32 \text{ J} . \quad (7.6)$$

Pro určení potenciální energie odhaduji pohyb těžiště na 265 mm (zdvih osy kola² 200 mm, stlačení pneu 65 mm), dosazením je velikost energie (dvě třetiny jsou vyváženy vztakovou silou křídla)

$$E_p = \frac{1}{3} \cdot W_{red,2} \cdot g \cdot h = \frac{1}{3} \cdot 1456,2 \cdot 9,81 \cdot 0,265 = 1261,87 \text{ J} . \quad (7.7)$$

¹Tato vzdušná síla je však uvažována pouze při výpočtu násobku reakcí země.

²Stlačení tlumiče a pákový převod.

Celková energie spadající na jednu podvozkovou nohu hlavního podvozku je tedy

$$E = \frac{1}{2} \cdot (E_k + E_p) = \frac{1}{2} \cdot (6123,32 + 1261,87) = 3692,6 \text{ J}. \quad (7.8)$$

Pro nárazovou sílu platí podíl přistávací energie a účinnosti tlumící soustavy

$$R = \frac{E}{K_t \cdot d_t + K_s \cdot d_s} = \frac{3692,6}{0,45 \cdot 0,065 + 0,75 \cdot 0,2} \doteq 20600 \text{ N}. \quad (7.9)$$

Provozní násobek zatížení reakcí země se určí ze vztahu

$$n_z = \frac{2 \cdot R}{G} = \frac{2 \cdot R}{W_{red,2} \cdot g} = \frac{2 \cdot 20600}{1456,2 \cdot 9,81} = 2,88 \quad (7.10)$$

a provozní násobek setrvačných sil

$$n_s = n_z + \frac{2}{3} = 2,88 + \frac{2}{3} = 3,55. \quad (7.11)$$

Působíště obou násobků je v těžišti letounu, svou velikostí vyhovují podmínce předpisu v odrážce (g) kdy násobek zatížení reakcí země musí být vyšší jak 2,0 a násobek zatížení setrvačnými silami vyšší jak 2,67.

Při výpočtu násobků lze rovněž vycházet ze zákona zachování energie z rovnice uvedené v publikaci Pazmanyho [23]. Protože obě strany rovnice ve všech sčítancích uvažují hmotnost letounu, lze tuto vyrušit, jak dokládá Mikula [16]. Násobek zatížení potom pouze závisí na klesací rychlosti a charakteristikách tlumící soustavy. Pro výpočet provozního násobku setrvačných sil jsem odvodil vztah

$$n_s = \frac{\frac{1}{2 \cdot g} \cdot v_y^2 + (d_t + d_s)}{K_t \cdot d_t + K_s \cdot d_s} = \frac{\frac{1}{2 \cdot 9,81} \cdot 2,9^2 + (0,065 + 0,2)}{0,45 \cdot 0,065 + 0,75 \cdot 0,2} = 3,87 \quad (7.12)$$

a pro provozní násobek zatížení reakcí země vztah

$$n_z = \frac{\frac{1}{2 \cdot g} \cdot v_y^2 + \frac{1}{3} \cdot (d_t + d_s)}{K_t \cdot d_t + K_s \cdot d_s} = \frac{\frac{1}{2 \cdot 9,81} \cdot 2,9^2 + \frac{1}{3} \cdot (0,065 + 0,2)}{0,45 \cdot 0,065 + 0,75 \cdot 0,2} = 2,88. \quad (7.13)$$

Uvažuji-li v předchozím výpočtu provozního násobku zatížení setrvačnými silami stejný postup výpočtu, který je uveden pro násobek zatížení reakcí země (s odlišným výpočtem potenciální energie kdy nepůsobí vztlaková síla), jsou hodnoty obou násobků v obou případech výpočtu shodné³.

Podle Mikuly [16] je výpočtové stanovování násobků zatížení i u velmi jednoduchých konstrukcí podvozku problematické, násobky se zpravidla stanovují pádovými zkouškami pohlcování energie podle CS 23.723.

³Výpočet násobku zatížení setrvačnými silami navýšením násobku zatížení reakcí země o dvě třetiny je vztah pouze přibližný a ne příliš přesný, přesto tento vztah předpis uvažuje.

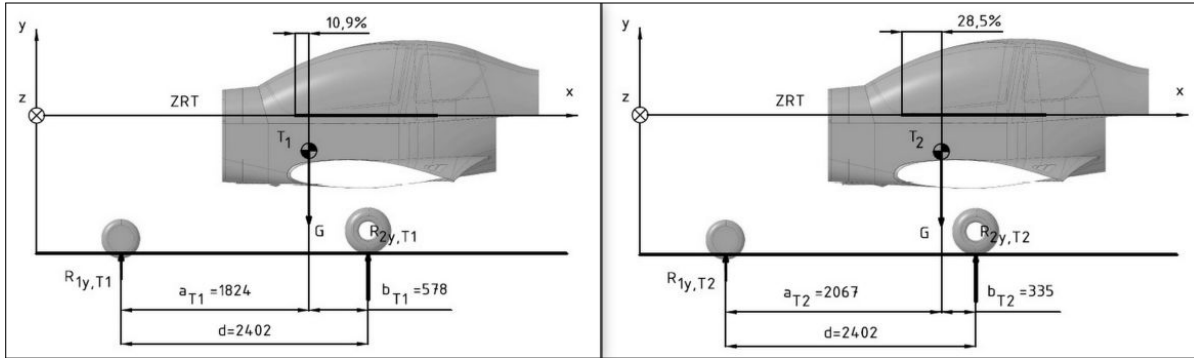
7.2 Zatížení při stání na zemi

Při stání se na každém opěrném bodu vytvoří statické reakce, jejichž součet se podle podmínky rovnováhy vždy rovná tíhové síle letounu. Platí [5, 28]

$$G = m_{TOW} \cdot g = 1600 \cdot 9,81 = 15696 \text{ N} \quad (7.14)$$

a

$$G = R_{1y} + R_{2y}. \quad (7.15)$$



Obrázek 7.2: Zatížení při stání na zemi

Síla na příďový podvozek

Reakce v příďovém podvozku bude při přední krajní poloze těžiště

$$R_{1y, T1} = \frac{b_{T1}}{d} \cdot G = \frac{0,578}{2,402} \cdot 15696 \doteq 3777,0 \text{ N} \quad (7.16)$$

a při zadní krajní poloze těžiště

$$R_{1y, T2} = \frac{b_{T2}}{d} \cdot G = \frac{0,335}{2,402} \cdot 15696 = 2189,1 \text{ N}. \quad (7.17)$$

Síly na hlavní podvozek

Reakce v hlavním podvozku pro obě podvozkové nohy při přední krajní poloze těžiště bude

$$R_{2y, T1} = \frac{a_{T1}}{d} \cdot G = \frac{1,824}{2,402} \cdot 15696 = 11919,0 \text{ N} \quad (7.18)$$

a při zadní krajní poloze těžiště

$$R_{2y, T2} = \frac{a_{T2}}{d} \cdot G = \frac{2,067}{2,402} \cdot 15696 = 13506,2 \text{ N}. \quad (7.19)$$

Síly v podvozkových nohách jsou stejné, určí se jednoduše vztahy

$$R_{2y, T1, 1pn} = \frac{R_{2y, T1}}{2} = \frac{11919,0}{2} = 5959,5 \text{ N}, \quad (7.20)$$

$$R_{2y, T2, 1pn} = \frac{R_{2y, T2}}{2} = \frac{13506,2}{2} = 6753,0 \text{ N}. \quad (7.21)$$

7.3 Zatížení při vodorovném přistání se skloněnými reakcemi

Letoun dosedá na oba podvozky současně. Dopředné složce setrvačné síly v těžišti odpovídá odporová složka reakce podvozkové nohy⁴. Při výpočtu se uvažuje CS 23.479 (a) (2) (i) a dodatek C - Základní podmínky pro přistání.

Pro hmotnost $W = 1520 \text{ kg}$ platí součinitel $K = 0,259$, který jsem vyjádřil pomocí parametrického vyjádření přímky mezi body $[0, 25; 1361]$ a $[0, 33; 2722]$, protože dle poznámky (1) se K mezi těmito body mění lineárně. Provozní násobek zatížení setrvačnými silami n_s uvažuji při výpočtu dopředných a odporových složek sil a provozní násobek zatížení reakcí země n_z při výpočtu svislých složek sil. Svislá složka síly při přistání působící v těžišti se určí vztahem

$$F_{Ty} = n_z \cdot W \cdot g = 2,88 \cdot 1520 \cdot 9,81 = 42944,3 \text{ N}, \quad (7.22)$$

dopředná složka v těžišti využitím součinitele K jako

$$F_{Tx} = K \cdot n_s \cdot W \cdot g = 0,259 \cdot 3,87 \cdot 1520 \cdot 9,81 = 14945,9 \text{ N}. \quad (7.23)$$

Výsledná reakce je skloněna o úhel α

$$\alpha = \arctg \frac{F_{Tx}}{F_{Ty}} = \arctg \frac{14945,9}{42944,3} = 19^\circ 11'. \quad (7.24)$$

Skloněné reakce obou podvozků působí na kolmých ramenou, které lze postupně určit pomocí goniometrických funkcí tg a $\cos$ viz. obr. 7.3. Pro přední krajní polohu těžiště platí

$$x_1 = h_1 \cdot tg \alpha = 0,9905 \cdot tg 19^\circ 11' = 0,345 \text{ m}, \quad (7.25)$$

$$a_{T1}' = (a_{T1} - x_1) \cdot \cos \alpha = (1,824 - 0,345) \cdot \cos 19^\circ 11' = 1,397 \text{ m}, \quad (7.26)$$

$$b_{T1}' = (b_{T1} + x_1) \cdot \cos \alpha = (0,578 + 0,345) \cdot \cos 19^\circ 11' = 0,872 \text{ m}. \quad (7.27)$$

Pro zadní krajní polohu těžiště obdobně

$$x_2 = h_2 \cdot tg \alpha = 0,9825 \cdot tg 19^\circ 11' = 0,342 \text{ m}, \quad (7.28)$$

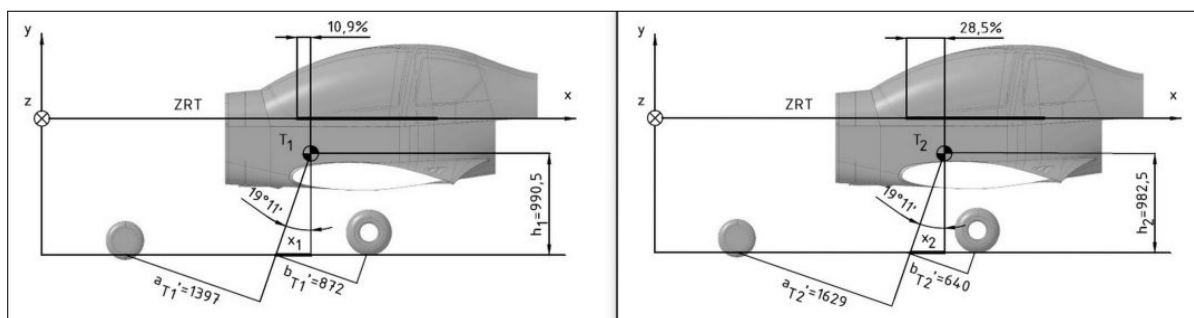
⁴Je to zejména třecí síla při roztáčení kol podvozku. Vliv na velikost dopředné složky setrvačné síly má i podélný sklon dráhy nebo najetí na nerovnost.

$$a_{T2}' = (a_{T2} - x_2) \cdot \cos \alpha = (2,067 - 0,342) \cdot \cos 19^\circ 11' = 1,629 \text{ m}, \quad (7.29)$$

$$b_{T2}' = (b_{T2} + x_2) \cdot \cos \alpha = (0,335 + 0,342) \cdot \cos 19^\circ 11' = 0,640 \text{ m}. \quad (7.30)$$

Nezávisle na poloze těžiště jsou skloněné reakce obou podvozků od sebe vzdáleny

$$d' = d \cdot \cos \alpha = 2,402 \cdot \cos 19^\circ 11' = 2,269 \text{ m}. \quad (7.31)$$



Obrázek 7.3: Výpočet ramen skloněných reakcí

Síla na příďový podvozek

Svislá a odporová složka reakce v příďovém podvozku je podle dodatku C pro přední krajní polohu těžiště

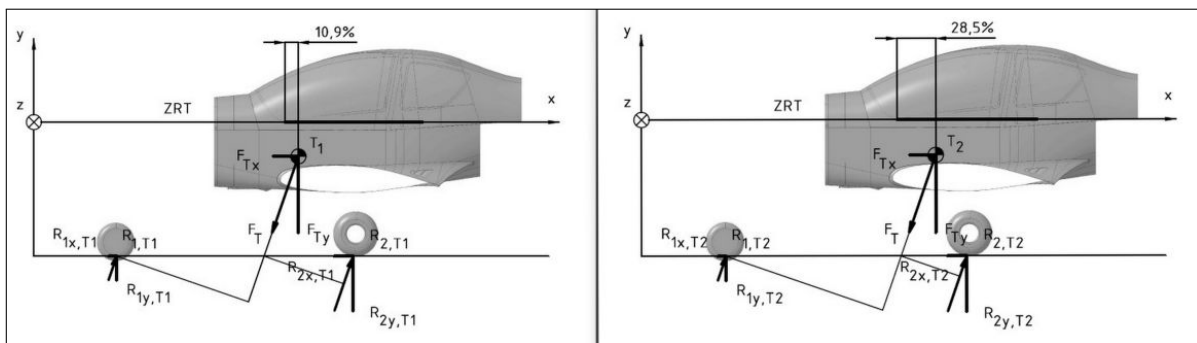
$$R_{1y,T1} = n_z \cdot W \cdot g \cdot \frac{b_{T1}'}{d'} = 2,88 \cdot 1520 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,872}{2,269} = 16503,9 \text{ N} \quad (7.32)$$

$$R_{1x,T1} = K \cdot n_s \cdot W \cdot g \cdot \frac{b_{T1}'}{d'} = 0,259 \cdot 3,87 \cdot 1520 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,872}{2,269} = 5743,9 \text{ N} \quad (7.33)$$

a pro zadní krajní polohu těžiště

$$R_{1y,T2} = n_z \cdot W \cdot g \cdot \frac{b_{T2}'}{d'} = 2,88 \cdot 1520 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,640}{2,269} = 12113,0 \text{ N}, \quad (7.34)$$

$$R_{1x,T2} = K \cdot n_s \cdot W \cdot g \cdot \frac{b_{T2}'}{d'} = 0,259 \cdot 3,87 \cdot 1520 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,640}{2,269} = 4215,7 \text{ N}. \quad (7.35)$$



Obrázek 7.4: Skloněné reakce při vodorovném přistání

Síly na hlavní podvozek

Obdobně se určí složky reakce na hlavní podvozek, pro přední centráž platí

$$R_{2y,T1} = n_z \cdot W \cdot g \cdot \frac{a_{T1}'}{d'} = 2,88 \cdot 1520 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,397}{2,269} = 26640,3 \text{ N}, \quad (7.36)$$

$$R_{2x,T1} = K \cdot n_s \cdot W \cdot g \cdot \frac{a_{T1}'}{d'} = 0,259 \cdot 3,87 \cdot 1520 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,397}{2,269} = 9202,1 \text{ N} \quad (7.37)$$

a pro zadní centráž

$$R_{2y,T2} = n_z \cdot W \cdot g \cdot \frac{a_{T2}'}{d'} = 2,88 \cdot 1520 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,629}{2,269} = 30831,3 \text{ N}, \quad (7.38)$$

$$R_{2x,T2} = K \cdot n_s \cdot W \cdot g \cdot \frac{a_{T2}'}{d'} = 0,259 \cdot 3,87 \cdot 1520 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,629}{2,269} = 10730,3 \text{ N}. \quad (7.39)$$

Reakce se do podvozkových noh rozdělí stejně pro obě krajní polohy těžiště, pro jednu podvozkovou nohu platí

$$R_{2y,T1,1pn} = \frac{R_{2y,T1}}{2} = \frac{26640,3}{2} = 13220,2 \text{ N}, \quad (7.40)$$

$$R_{2x,T1,1pn} = \frac{R_{2x,T1}}{2} = \frac{9202,1}{2} = 5674,7 \text{ N}, \quad (7.41)$$

$$R_{2y,T2,1pn} = \frac{R_{2y,T2}}{2} = \frac{30831,3}{2} = 15415,7 \text{ N}, \quad (7.42)$$

$$R_{2x,T2,1pn} = \frac{R_{2x,T2}}{2} = \frac{10730,3}{2} = 5365,2 \text{ N}. \quad (7.43)$$

7.4 Zatížení při vodorovném přistání s příďovým kolem těsně nad zemí

Letoun dosedá pouze na hlavní podvozek. Pozemní zatížení příďového podvozku v momentě přistávacího rázu je nulové, příďové kolo se nachází těsně nad dráhou. Při výpočtu se uvažuje CS 23.479 (a) (2) (ii) a dodatek C - Základní podmínky pro přistání. Velikost složek sil v těžišti je stejná jako v předchozím případě zatížení.

Síly na hlavní podvozek

Protože k určení reakce v hlavním podvozku postačí pouze silová rovnováha, nemusí se uvažovat poloha těžiště. Velikost reakcí je stejná jako velikost akčních sil v těžišti, liší se pouze opačným směrem působení

$$R_{2y} = n_z \cdot W \cdot g = 2,88 \cdot 1520 \cdot 9,81 = 42944,3 \text{ N}, \quad (7.44)$$

$$R_{2x} = K \cdot n_s \cdot W \cdot g = 0,259 \cdot 3,87 \cdot 1520 \cdot 9,81 = 14945,9 \text{ N}. \quad (7.45)$$

Reakce se do obou podvozkových noh rozdělí stejně, určí se obdobně jako v předchozích případech

$$R_{2y,1pn} = \frac{R_{2y}}{2} = \frac{42944,3}{2} = 21472,2 \text{ N}, \quad (7.46)$$

$$R_{2x,1pn} = \frac{R_{2x}}{2} = \frac{14945,9}{2} = 7473,0 \text{ N}. \quad (7.47)$$

7.5 Zatížení při přistání s velkým úhlem podélného sklonu

Letoun dosedá pouze na hlavní podvozek s takovým úhlem podélného sklonu, že účinek setrvačné a reakční síly se uvažuje pouze ve svislém směru, v těžišti tedy působí pouze setrvačná síla F_{Ty} . Pro výpočet je použit dodatek C - Základní podmínky pro přistání.

Síly na hlavní podvozek

Reakce země na hlavní podvozek se rovná velikosti setrvačné síly. K určení reakce postačuje silová rovnováha, poloha těžiště se nezohledňuje

$$R_{2y} = n_z \cdot W \cdot g = 2,88 \cdot 1520 \cdot 9,81 = 42944,3 \text{ N}, \quad (7.48)$$

pro jednu podvozkovou nohu platí

$$R_{2y,1pn} = \frac{R_{2y}}{2} = \frac{42944,3}{2} = 21472,2 \text{ N}. \quad (7.49)$$

7.6 Zatížení při přistání na jednu podvozkovou nohu

Podmínky pro přistání na jedno kolo stanovuje odstavec CS 23.483. Letoun je ve vodorovné poloze a země se dotýká pouze jedním kolem hlavního podvozku, reakce v jedné podvozkové noze musí být stejná jako reakce při vodorovném přistání podle CS 23.479. Pro přední krajní polohu těžiště lze psát

$$R_{2y, T1, 1pn} = 16305,2 \text{ N} , \quad (7.50)$$

$$R_{2x, T1, 1pn} = 5674,7 \text{ N} \quad (7.51)$$

a pro zadní krajní polohu těžiště

$$R_{2y, T2, 1pn} = 18472,3 \text{ N} , \quad (7.52)$$

$$R_{2x, T2, 1pn} = 6429,0 \text{ N} . \quad (7.53)$$

7.7 Boční zatížení

Vodorovné síly ve směru rozpětí křídla vznikají při přistání s bočním větrem nebo při zatačení během pojiždění. Odstavec CS 23.483 pro určení svislých i bočních sil stanovuje provozní násobky svislého statického zatížení. Reakce jsou uvažovány pouze v hlavním podvozku. Provozní násobek svislého zatížení v těžišti je stanoven na hodnotu 1,33. Boční provozní násobek je stanoven na hodnotu 0,83, který se do podvozkových noh hlavního podvozku rozděluje v poměru 0,33 a 0,5. Svislá a boční složka síly v těžišti je využitím násobků

$$F_{Ty} = n_y \cdot G = 1,33 \cdot 15696 = 20875,7 \text{ N}, \quad (7.54)$$

$$F_{Tz} = n_z \cdot G = 0,83 \cdot 15696 = 13027,7 \text{ N}. \quad (7.55)$$

Síly na hlavní podvozek

Svislá složka síly v těžišti se do podvozkových noh rozdělí stejně, velikost reakce je

$$R_{2y, 1pn} = \frac{F_{Ty}}{2} = \frac{20875,7}{2} = 10497,9 \text{ N}, \quad (7.56)$$

boční složka síly se do reakcí rozdělí dle velikostí násobků

$$R_{2z_1, 1pn} = n_{z_1} \cdot G = 0,5 \cdot 15696 = 7848 \text{ N}, \quad (7.57)$$

$$R_{2z_2, 1pn} = n_{z_2} \cdot G = 0,33 \cdot 15696 = 5179,7 \text{ N}. \quad (7.58)$$

7.8 Zatížení při brzdění

Předpis v odstavci CS 23.493 definuje podmínky brzdění při pojíždění, uvažovány jsou podmínky pro vodorovné přistání. Jako v předchozím případě, i v tomto je stanovena svislá a odporová složka síly v těžišti pomocí provozního násobku statického zatížení, který je 1,33 pro svislou a 0,8 pro odporovou složku.

Setrvačná síla v těžišti je uvažována pouze ve směru tíhové síly, využitím násobku ji lze stanovit jako

$$F_{Ty} = n_y \cdot G = 1,33 \cdot 15696 = 20875,7 \text{ N}, \quad (7.59)$$

Síly na hlavní podvozek

Velikost svislé složky reakce v podvozkové noze je

$$R_{2y,1pn} = \frac{F_{Ty}}{2} = \frac{20875,7}{2} = 10437,9 \text{ N}. \quad (7.60)$$

Odporová složka pozemní reakce je uvažována pouze pro brzděné kolo, v případě VUT200 se jedná o obě kola hlavního podvozku. Reakce v jedné podvozkové noze je

$$R_{2x,1pn} = n_x \cdot G = 0,8 \cdot 15696 = 12556,8 \text{ N}. \quad (7.61)$$

7.9 Dodatečné zatížení příďového podvozku

Pro příďový podvozek je podle předpisu CS 23.499 definováno dodatečné zatížení. Pro každý případ zatížení jsou předepsány provozní násobky svislého statického zatížení obdobně jako v předchozím případě.

Zatížení směrem dozadu CS 23.499 (a)

Provozní násobek pro svislou složku je 2,25 a pro odporovou 0,8. Svislá a odporová reakce je využitím provozních násobků pro obě krajní polohy těžiště

$$R'_{1y,T1} = R_{1y,T1} \cdot n_y = 3777,0 \cdot 2,25 = 8498,3 \text{ N}, \quad (7.62)$$

$$R'_{1x,T1} = R_{1y,T1} \cdot n_x = 3777,0 \cdot 0,8 = 3021,6 \text{ N}, \quad (7.63)$$

$$R'_{1y,T2} = R_{1y,T2} \cdot n_y = 2189,1 \cdot 2,25 = 4925,5 \text{ N}, \quad (7.64)$$

$$R'_{1x,T2} = R_{1y,T2} \cdot n_x = 2189,1 \cdot 0,8 = 1751,3 \text{ N}. \quad (7.65)$$

Zatížení směrem dopředu CS 23.499 (b)

Provozní násobek pro svislou složku je 2,25 a pro odporovou 0,4. Svislá složka reakce je pro obě centráže shodná s předchozím výpočtem zatížení příďového podvozku směrem dozadu. Odporová složka reakce je

$$R'_{1x,T1} = R_{1y,T1} \cdot n_x = 3777,0 \cdot 0,4 = 1510,8 \text{ N} , \quad (7.66)$$

$$R'_{1x,T2} = R_{1y,T2} \cdot n_x = 2189,1 \cdot 0,4 = 875,6 \text{ N} . \quad (7.67)$$

Boční zatížení CS 23.499 (c)

Provozní násobek pro svislou složku je 2,25 a pro boční 0,7. Svislé složky reakce jsou tedy shodné s předchozími případy. Boční reakce využitím odporového násobku je pro obě krajní polohy těžiště

$$R'_{1z,T1} = R_{1y,T1} \cdot n_z = 3777,0 \cdot 0,7 = 2643,9 \text{ N} , \quad (7.68)$$

$$R'_{1z,T2} = R_{1y,T2} \cdot n_z = 2189,1 \cdot 0,7 = 1532,4 \text{ N} . \quad (7.69)$$

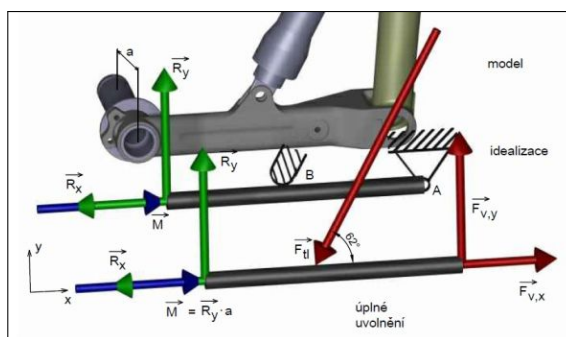
8 Pevnostní výpočet hlavního podvozku

8.1 Idealizace výpočtu

Uvažuji případ zatížení, ve kterém vznikají největší zatěžující síly - přistání pouze na hlavní podvozek. Svůj výpočet zjednodušuji na statický případ zatížení. Protože složky zatěžující síly působí pouze v horizontální ose x a ve svislé ose y , lze celý problém zjednodušit na 2D rovinnou úlohu. Celek podvozkové nohy skládající se z osy kola, vidlice, tlumiče a těla nohy (válce) idealizují do dvou prutových úloh.

V první úloze řeším samostatně reakce vznikající na vidlici podvozkové nohy, která tvoří první prutovou úlohu. Vidlice je zatížena složkami R_y a R_x , které mají působíště vyložené na ose kola. Proto vzniká nejen ohybový moment, ale i nežádoucí moment krutící, který je zachycen v uložení vidlice - okách válce. Vidlice je rovněž zatížena tak, že vzniká normálová a posouvající síla. Vidlice je uložena na dvou podporách, tlumiči a těle nohy. Tlumič zachycuje pouze osovou sílu, proto uvažuji obecnou vazbu, která odebrává jeden stupeň volnosti. V těle nohy je vidlice uložena pomocí rotační vazby, ta odebrává dva stupně volnosti. Úloha je staticky určitá.

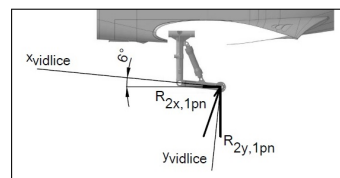
Druhou úlohou je kontrola těla nohy. Pro tento „válec“ uvažuji zatěžovací síly vyšetřené z uvolněných vazeb v předešlé úloze (reakce tlumiče a uložení vidlice). Další zatěžující silou je osová zlomovací vzpěry. Pro uložení nohy v letounu uvažuji vetknutí, úloha je staticky určitá.



Obrázek 8.1: Uložení a úplné uvolnění vidlice

8.2 Vidlice

V okamžiku největšího stlačení, kdy je zdvih pákového převodu až 200 mm (stlačení tlumiče 105 mm, tlumič je na dorazu), je podélná osa vidlice otočena o 6° od horizontály. Obě složky zatěžující síly tedy přepočítávám z absolutního (zemského) souřadného systému do souřadného systému vidlice pomocí goniometrické funkce $\cos$. Uvažuji početní zatížení využitím součinitele bezpečnosti.

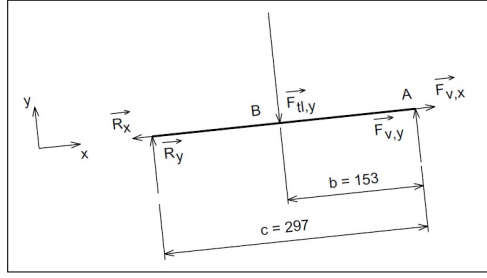


Obrázek 8.2: Poloha vidlice při úplném stlačení

$$R_y = R_{2y,1pn} \cdot \cos \beta \cdot f = 21472,2 \cdot \cos 6^\circ \cdot 1,5 = 32031,6 \text{ N}, \quad (8.1)$$

$$R_x = R_{2x,1pn} \cdot \cos \beta \cdot f = 7473,0 \cdot \cos 6^\circ \cdot 1,5 = 11148,2 \text{ N}. \quad (8.2)$$

8.2.1 Výpočet reakcí



Obrázek 8.3: Reakce na vidlici

K výpočtu reakcí (VVÚ v místě vazeb) postačí úplné uvolnění prutu a dvě silové a momentová rovnice statické rovnováhy. Úlohu znázorňuje obrázek 8.3. Silovou rovnováhu v ose x lze zapsat jako

$$R_x - F_{v,x} = 0. \quad (8.3)$$

Z rovnice lze přímo určit velikost reakce v uložení vidlice $F_{v,x}$, která je rovna zatěžující síle R_x

$$F_{v,x} = R_x = 11148,2 \text{ N}. \quad (8.4)$$

Z momentové rovnováhy k bodu A lze vyšetřit velikost síly v tlumiči

$$R_y \cdot c - F_{tl,y} \cdot b = 0 \quad (8.5)$$

$$F_{tl,y} = \frac{R_y \cdot c}{b} = \frac{32031,6 \cdot 0,297}{0,153} = 62179,0 \text{ N} \quad (8.6)$$

$$F_{tl} = \frac{F_{tl,y}}{\sin \gamma} = \frac{62179,0}{\sin 62^\circ} = 70422,1 \text{ N}. \quad (8.7)$$

Zbývající síla $F_{v,y}$ se určí ze silové rovnováhy ve směru y

$$R_y - F_{tl,y} + F_{v,y} = 0 \quad (8.8)$$

$$F_{v,y} = F_{tl,y} - R_y = 62179,0 - 32031,6 = 30147,4 \text{ N}. \quad (8.9)$$

8.2.2 Průběh VVÚ

Průběh výsledných vnitřních účinků ve vidlici znázorňuje obrázek 8.4. Nebezpečný průřez je v bodě B, v místě uložení tlumiče a působíště maximálního ohybového momentu

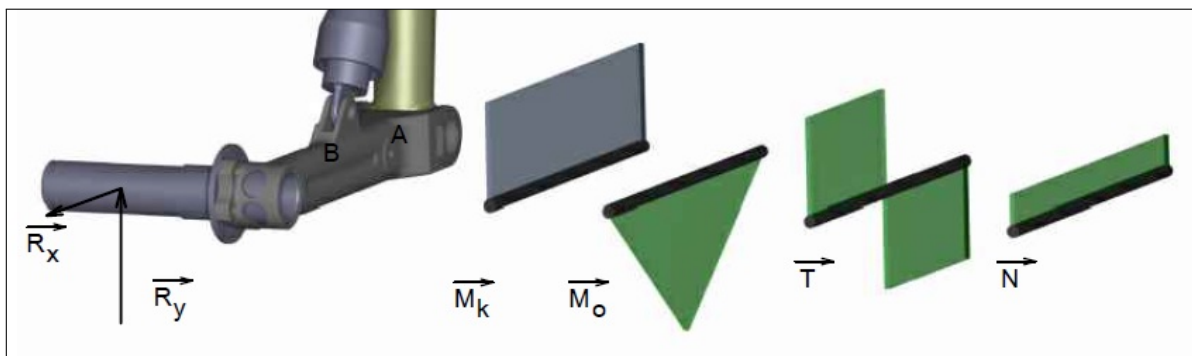
$$M_{o,max} = R_y \cdot (c - b) = 32031,6 \cdot (0,297 - 0,153) = 4612,6 \text{ Nm}. \quad (8.10)$$

Velikost kroutícího momentu je přibližně

$$M_k = R_y \cdot a = 32031,6 \cdot 0,1 = 3203,2 \text{ Nm}. \quad (8.11)$$

Posouvající síla v místě B je nulová, normálová síla je rovna zatěžující síle R_x

$$N = R_x = 11148,2 \text{ N}. \quad (8.12)$$



Obrázek 8.4: VVÚ vidlice

8.2.3 Kontrola vybraného místa

Pro výpočet napětí jsem vybral nebezpečný průřez v místě B. Původně téměř obdélníkový průřez se dvěma kruhovými odlehčovacími otvory jsem nahradil plným obdélníkovým průřezem. V místě působí normálová síla, tahové napětí je po ploše průřezu konstantní. Maximální napětí od ohybového momentu působí v krajních rovinách průřezu. Maximální smykové napětí od kroutícího momentu vzniká v polovině delší strany průřezu, v místě nulového ohybového momentu. Lokální maximum smykového napětí působí v polovině kratší strany průřezu, v místě maximálního ohybového momentu. V tomto místě určují redukované napětí podle teorie $max\tau$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2}. \quad (8.13)$$

Pro výpočet napětí od normálové síly je zapotřebí určit plochu průřezu

$$S = b \cdot h = 25 \cdot 50 = 1250 \text{ mm}^2. \quad (8.14)$$

Tlak od normálové síly je

$$\sigma_N = \frac{N}{S} = \frac{11148,2}{1250} = 8,9 \text{ MPa}. \quad (8.15)$$

Pro výpočet napětí od ohybového momentu je třeba znát kvadratický moment průřezu (orientace os dle obr. 8.6)

$$J_{yT} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{25 \cdot 50^3}{12} = 26,04 \cdot 10^4 \text{ mm}^4. \quad (8.16)$$

Napětí od ohybového momentu je v krajní rovině (kde míra z je vzdálenost krajního vlákna od těžiště plochy průřezu)

$$\sigma_{M_o} = \frac{M_o}{J_{yT}} \cdot z = \frac{4,6 \cdot 10^6}{26,04 \cdot 10^4} \cdot 25 = 441,6 \text{ MPa}. \quad (8.17)$$

Modul průřezu v krutu pro smykové napětí uprostřed kratší strany obdélníkového průřezu ($\max \tau_{xy}$) je podle učebního materiálu [48]

$$W_k = \beta \cdot h^2 \cdot b = 0,155 \cdot 50^2 \cdot 25 = 9687,5 \text{ mm}^3, \quad (8.18)$$

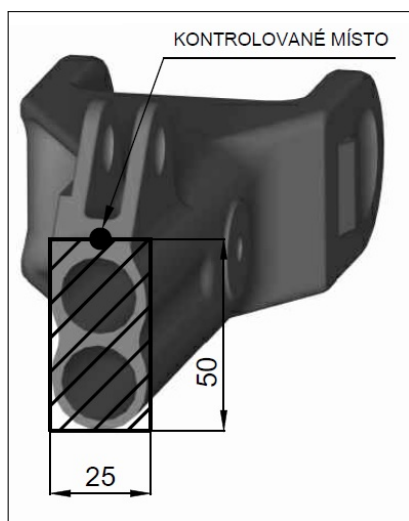
kde β je pro poměr stran $\frac{h}{b} = \frac{50}{25} = 2$. Smykové napětí se určí jako podíl kroutícího momentu a modulu průřezu v krutu

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{3,2 \cdot 10^6}{9687,5} = 330,3 \text{ MPa}. \quad (8.19)$$

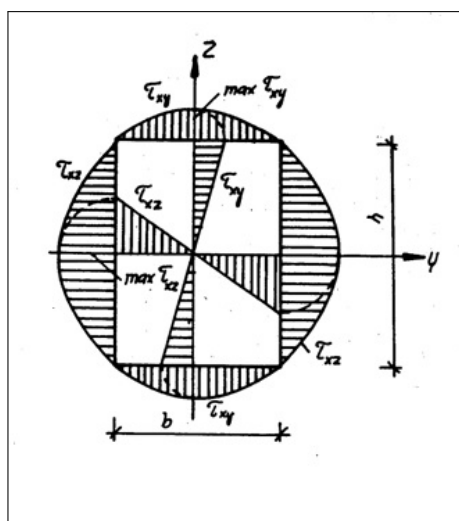
Konečně redukované napětí v kontrolovaném místě je

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_N + \sigma_{M_O})^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{(8,9 + 441,6)^2 + 4 \cdot 330,3^2} = 793,8 \text{ MPa}. \quad (8.20)$$

Současná vidlice VUT100 je zhotovena z chrom-molybdenové oceli L-CM3.3 se smluvní mezí kluzu 690 MPa. Do budoucna výrobce počítá s užitím materiálů AISI 4130 ($R_{p0,2} = 780 \text{ MPa}$) nebo AISI 4340 ($R_{p0,2} = 980 \text{ MPa}$), které by, vzhledem k napětí vznikajícímu pod početním zatížením, byly vhodnější.



Obrázek 8.5: Kontrolovaný průřez

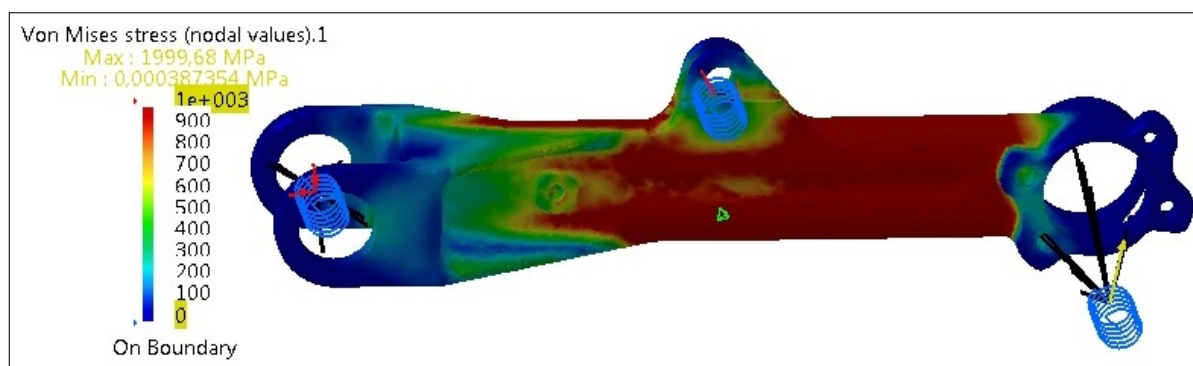


Obrázek 8.6: Průběh smykového napětí v obdélníkovém průřezu [48]

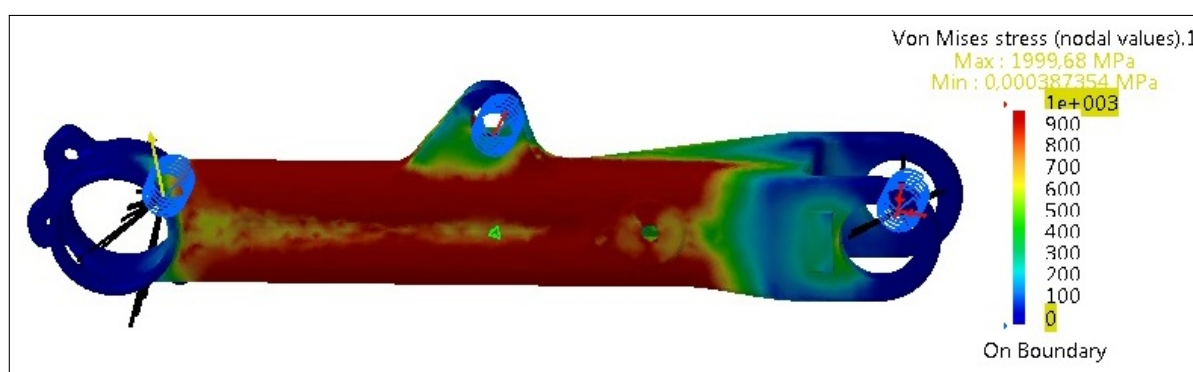
8.2.4 Řešení MKP

K numerickému řešení MKP používám modul Generative Structural Analysis prostředí Catia. Model MKP je zhotoven ze sítě o velikosti prvku 5 milimetrů. Zatížení složkami R_x a R_y zavádím na virtuální osu kola - prvek Rigid Spring Virtual Part, okrajové podmínky jsou v souladu s analytickým řešením. Analýze podrobuji vidlici z materiálu AISI 4340 se smluvní mezí kluzu 980 MPa.

Původní vidlice bez úprav



Obrázek 8.7: Průběh napětí na původní vidlici VUT100 pod početním zatížením VUT200 I



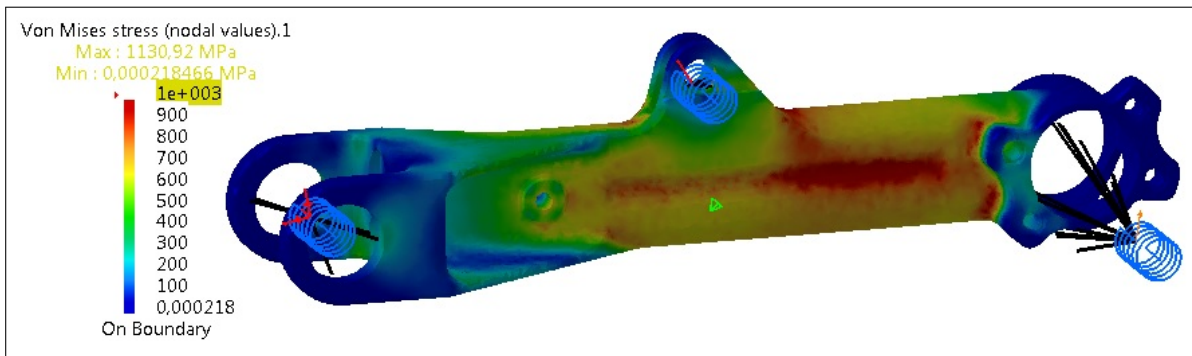
Obrázek 8.8: Průběh napětí na původní vidlici VUT100 pod početním zatížením VUT200 II

8.2.5 Návrh na úpravu vidlice

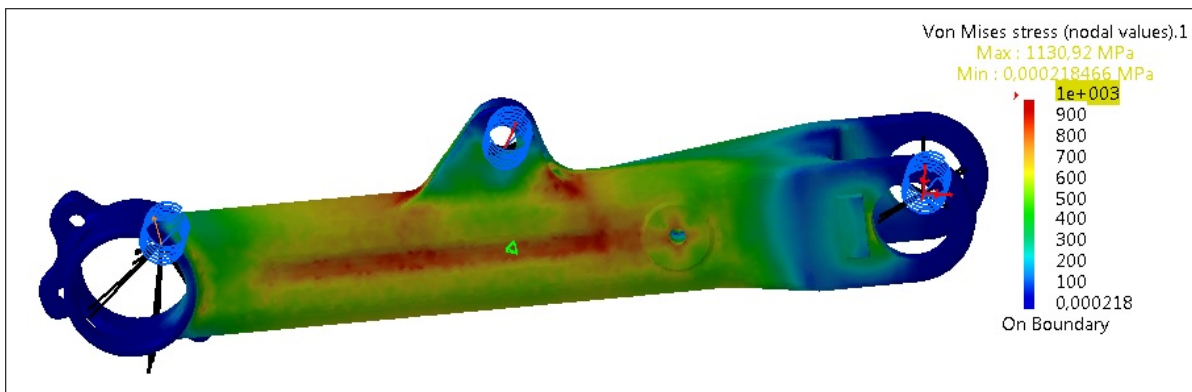
Průběh napětí na původní vidlici VUT100 podle obrázků 8.7 a 8.8 ukazuje na potřebu razantního vyztužení vidlice v podélném směru od uložení osy kola k uložení tlumiče. Další konstrukční změnou na vidlici je (kromě v analytickém řešení zmíněného plného průřezu) podélné žebro umístěné do osy vidlice, které snižuje smykové napětí na delší straně průřezu a špičku napětí v přechodu náboj osy kola - podélné tělo vidlice. Tloušťka žebra je 20 milimetrů, napojení na tělo vidlice je zaobleno poloměrem 12 mm a vnější hrany poloměrem 2 mm. Vnější plochy obou delších stran průřezu těla vidlice jsou rovněž zbaveny všech nerovností, na kterých by se mohly hromadit špičky napětí.

Vidlice s plným průřezem

Vidlici s plným obdélníkovým průřezem jsem použil v analytickém výpočtu kontrolovaného místa v průřezu B. Hodnoty napětí, které udává výpočet MKP v kontrolovaném místě, oscilují v rozmezí hodnot 800 až 850 MPa. Je tak nalezená dobrá shoda mezi oběma přístupy. Je zřejmá dominance smykového napětí na delší straně průřezu podle obrázku 8.6.



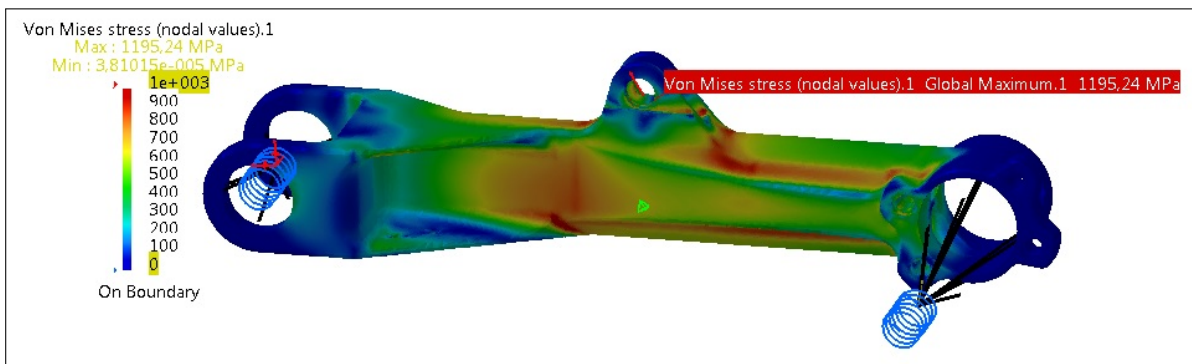
Obrázek 8.9: Průběh napětí na vidlici s plným příčným průřezem pod početním zatížením I



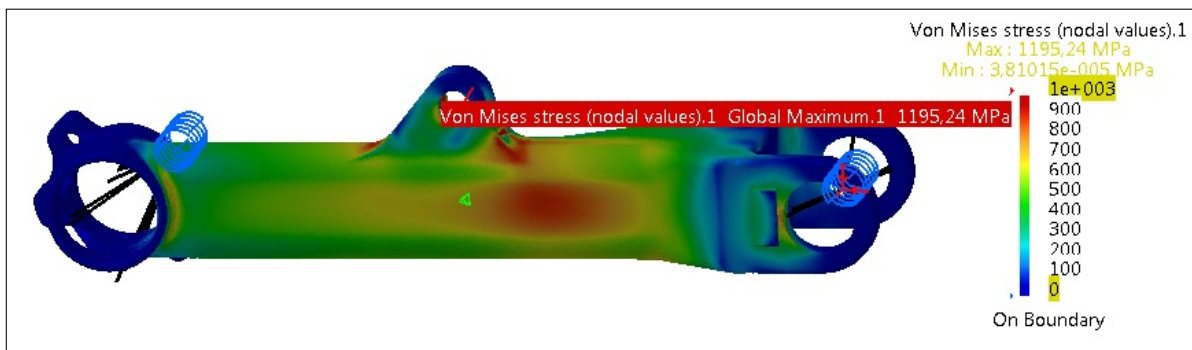
Obrázek 8.10: Průběh napětí na vidlici s plným příčným průřezem pod početním zatížením II

Vidlice s plným průřezem a žebrem

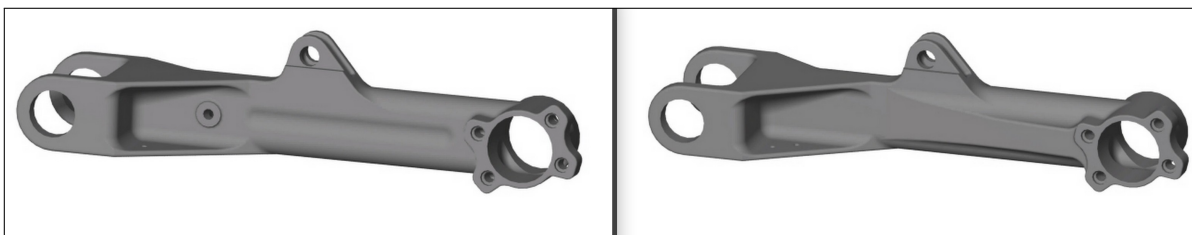
Hodnota maximálního napětí se nachází v místě uchycení čepu tlumiče. V těchto místech dochází ke zpevnění povrchových vrstev materiálu otláčením, proto špička napětí v tomto místě není směrodatná. V ostatních místech se zvýšenou koncentrací napětí se hodnota napětí pohybuje okolo 900 MPa , což je vzhledem k mezi kluzu na 980 MPa vyhovující.



Obrázek 8.11: Průběh napětí na vidlici s plným příčným průřezem a žebrem pod početním zatížením I

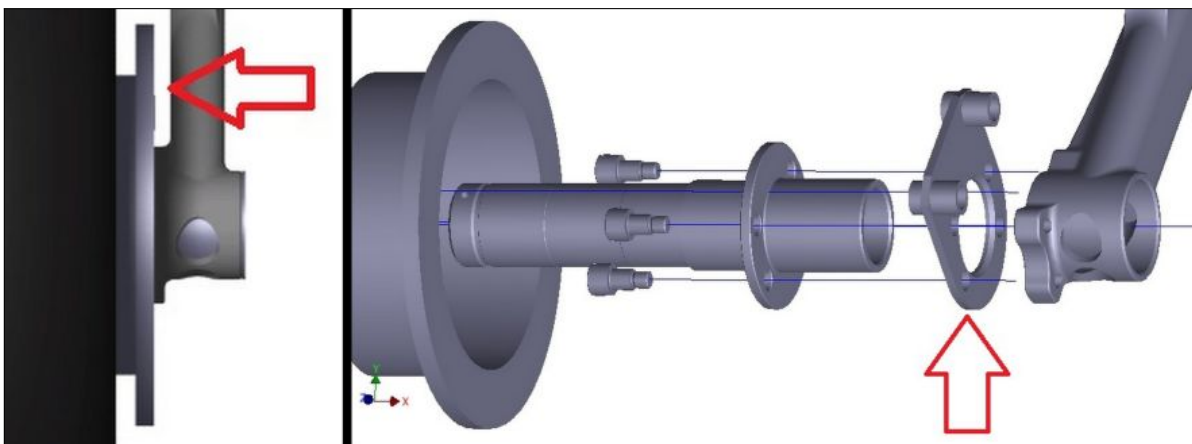


Obrázek 8.12: Průběh napětí na vidlici s plným příčným průřezem a žebrem pod početním zatížením II



Obrázek 8.13: Původní a upravená vidlice

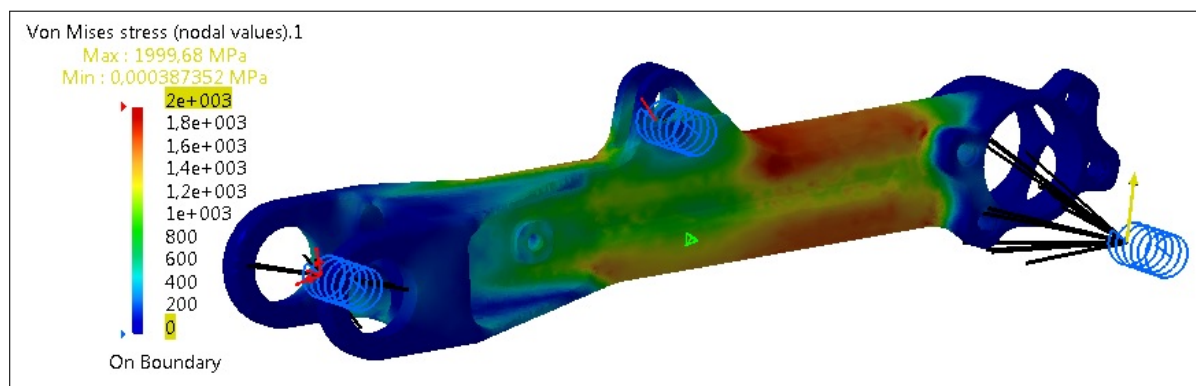
Aby se zachovala světlá vzdálenost mezi talířem náboje kola a vidlicí, je zapotřebí zesílit podložku podle obr. 8.14 o devět milimetrů. Nevýhodou je delší rameno působící přístávací síly a změna polohy kola v zasunutém stavu.



Obrázek 8.14: Světlá vzdálenost mezi nábojem a vidlicí

Původní vidlice + lepší materiál

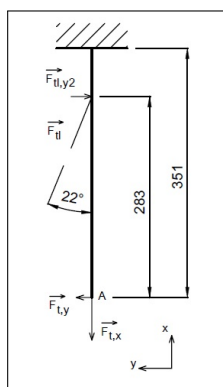
Jestliže se výrobce chce vyvarovat jakékoliv změny tvaru vidlice, doporučuji použít ocel prvotřídní letecké kvality AISI 300M, která se na podvozky používá nejčastěji a lze zušlechtit na pevnost až 2100 MPa. Na výrobcu tedy je, aby posoudil, zda je ekonomičtější změna tvaru nebo použití lepšího materiálu. [10, 11]



Obrázek 8.15: Vidlice se smluvní mezí kluzu 2000 MPa

8.3 Tělo nohy (válec)

8.3.1 Zatížení válce



Velikost zatěžujícího momentu uvažuji z předchozí úlohy, jeho působíště je na volném dolním konci prutu¹. Zatěžující síly jsou (obr. 8.16)

$$F_{t,y} = F_{v,x} \cdot \cos \beta = 11148,2 \cdot \cos 6^\circ = 11087,1 \text{ N}, \quad (8.21)$$

$$F_{t,x} = F_{v,y} \cdot \cos \beta = 30147,4 \cdot \cos 6^\circ = 29982,2 \text{ N}, \quad (8.22)$$

Obrázek 8.16: Za- $F_{tl,y2} = F_{tl} \cdot \cos (90^\circ - \delta) = 70422,1 \cdot \cos (90^\circ - 22^\circ) = 26380,6 \text{ N}$.
tížení válce (8.23)

8.3.2 Reakce zlamovací vzpěry

Samostatnou úlohou je vyšetřování reakce zlamovací vzpěry, která rovněž zatěhuje tělo podvozkové nohy v místě jejího připojení. Celou situaci blíže popisují obrázky 8.17 a 8.18. Pro myšlený prut uvažuji rotační a obecnou vazbu. Nejprve určuji početní zatížení podvozkové nohy ve svislém směru

$$R_y' = R_{2y,1pn} \cdot f = 21472,2 \cdot 1,5 = 32208,3 \text{ N}. \quad (8.24)$$

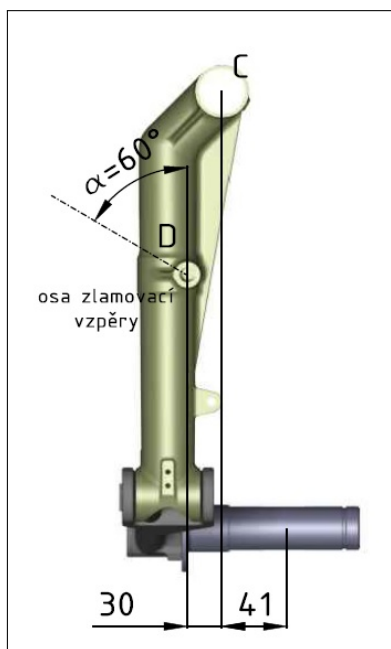
K určení síly $R_{zv,y}$ respektive osově síly R_{zv} postačí momentová rovnice k bodu C (uložení nohy v draku)

$$R_{zv,y} \cdot k - R_y' \cdot l = 0 \quad (8.25)$$

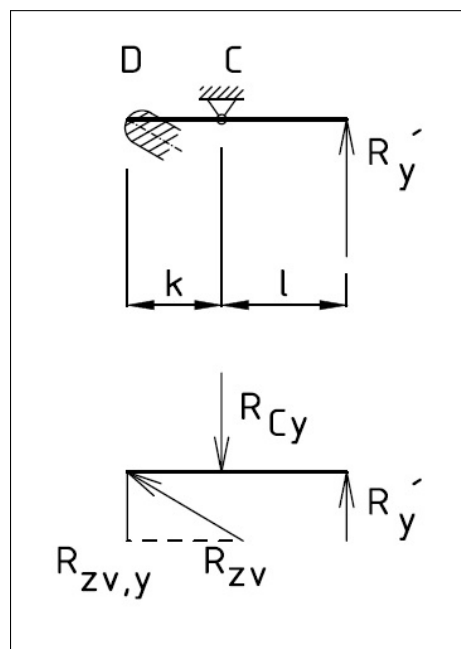
¹Válec je momentem od vyložení kola ohýbán (projeví se ve VVÚ jako M_{oy}), kdežto vidlice je zkrucována (M_k).

$$R_{zv,y} = \frac{R_y' \cdot l}{k} = \frac{32208,3 \cdot 0,041}{0,03} = 44018,0 \text{ N} \quad (8.26)$$

$$R_{zv} = \frac{R_{zv,y}}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{44018,0}{\sin(90^\circ - 60^\circ)} = 88036 \text{ N}. \quad (8.27)$$



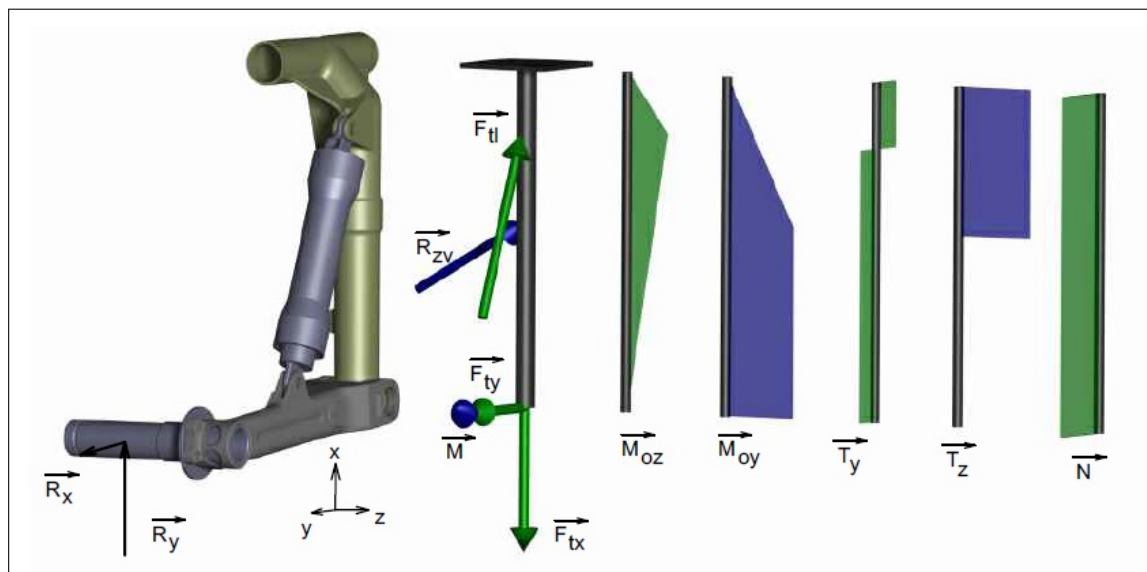
Obrázek 8.17: Výpočet osové síly zlomovací vzpěry I



Obrázek 8.18: Výpočet osové síly zlomovací vzpěry II

8.3.3 Průběh VVÚ

Průběh výsledných vnitřních účinků ve válci znázorňuje obrázek 8.19. Pro určení průběhu ohybového momentu M_{oy} uvažují uložení nohy v letounu rotační vazbou (nepřenáší moment silové dvojice) viz obr. 8.18. Z obrázku 8.19 je patrné, že na válci nelze jednoznačně určit nebezpečné místo, velikosti momentů se po střednici rozcházejí. Tento fakt stěžíže identifikaci kritického místa při analytickém řešení, proto přímo přistupují k řešení MKP.

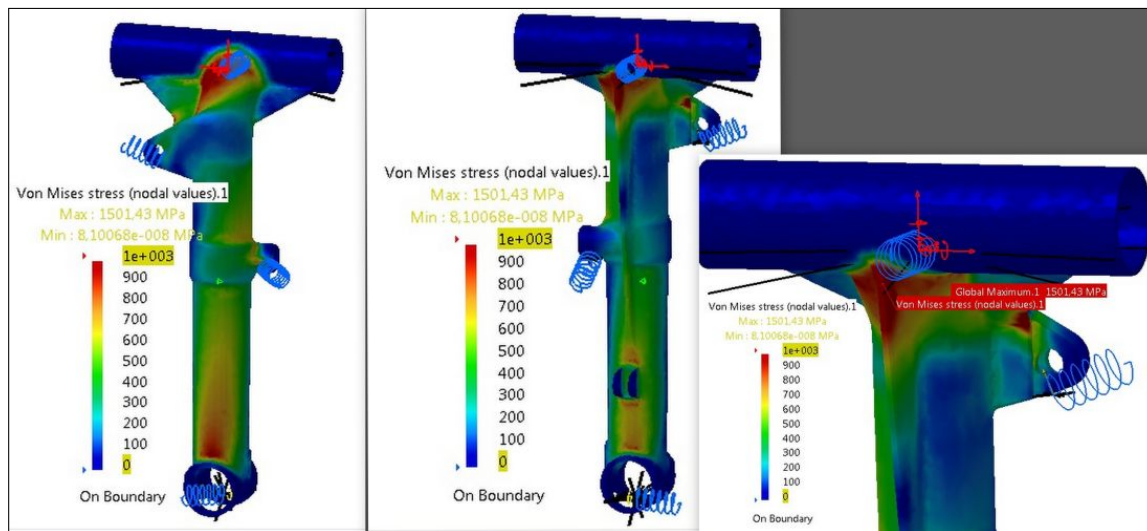


Obrázek 8.19: VVÚ válce

8.3.4 Řešení MKP

Při analýze MKP používám stejný řešič jako v předcházejícím případě, zatížení je shodné s definovanými silami výše. Válec je svařenec z oceli L-ROL.7 se smluvní mezí kluzu 930 MPa.

Původní válec bez úprav



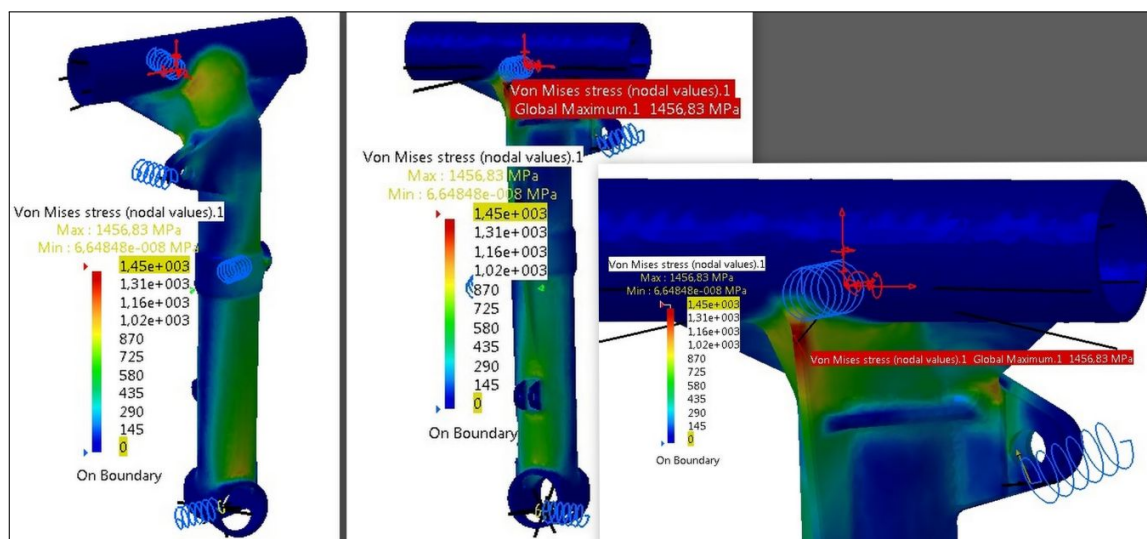
Obrázek 8.20: Průběh napětí na původním válci VUT100 pod početním zatížením VUT200

Z obrázku 8.20 je zřejmé, že největší zatížení válce vzniká v jeho horní polovině, konkrétně v oblasti přípoje šikmé části k příčné trubce, kterou je noha uložena v draku letounu. Špička napětí, která výrazně přesahuje hodnoty v ostatních částech vyznačené červenou

barvou² je 1550 MPa a nachází se na hraně podélného žebra v místě přípoje na příčnou trubku.

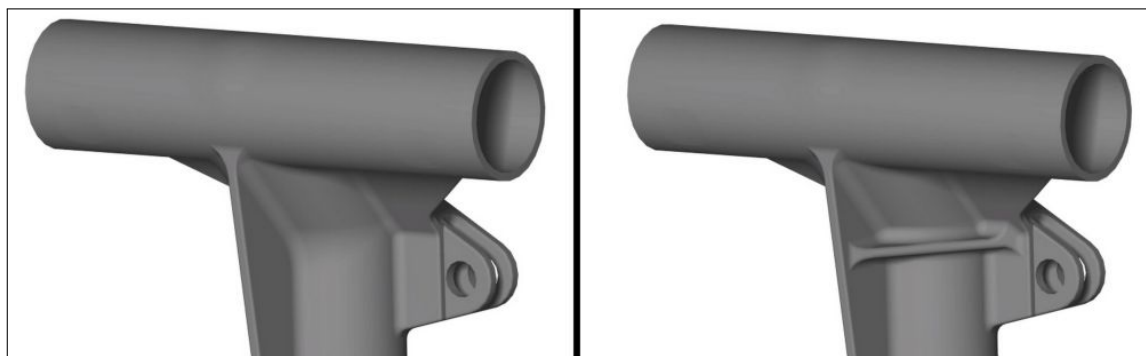
8.3.5 Návrh na úpravu válce

Použitím lepšího materiálu odpadají výraznější konstrukční změny těla nohy, které by především směřovaly ke zvýšení plochy příčného průřezu ať už použitím trubek s vyšším průměrem nebo trubek se silnější stěnou. Proto navrhuji použití materiálu L-ROLN (16532) s minimální smluvní mezí kluzu 1420 MPa. Citlivou změnou je přidané příčné žebro o tloušťce 4 mm do oblasti uchycení tlumiče a podélného žebra. Pozice této výztuhy je patrná z obrázku 8.21 a 8.22.



Obrázek 8.21: Průběh napětí na válci z lepšího materiálu a s výztuhou pod početním zatížením

V tomto případě vzniká špička napětí ve stejném místě, její hodnota 1440 MPa je téměř shodná s minimální smluvní mezí kluzu materiálu. S přihlédnutím k pouze minimálnímu navýšení hmotnosti a bezpečnosti při výpočtu 1,5 je řešení uspokojivé.



Obrázek 8.22: Původní a upravený válec

²Hodnoty napětí se pohybují okolo 1000 MPa, tj. na hranici smluvní meze kluzu původního materiálu L-ROL.7 (14532).

Ponechána bílá strana.

Závěr

Diplomová práce diskutuje devět možností zatahování hlavního podvozku malého dvoumotorového letounu VUT200 TwinCobra, který vychází z řady letounů VUT100. Hlavní podvozková noha je podrobena analýze zatahování podélně do motorové gondoly po a proti směru letu, stejně jako analýze příčného zatahování směrem k ose souměrnosti letounu. Pro každou z poloh je vypočtena poloha těžiště letounu a míra rozvoru, která je iteračně ovlivněna polohou těžiště a naopak. Poloha podvozkové nohy je rozebírána z pohledu co nejlepšího zatažení, proto je umisťována před hlavní nosník a mezi oba nosníky centroplánu v různých výškových polohách. Právě výšková poloha je po diskuzi nabízených výhod a nevýhod každého z řešení limitujícím faktorem, kdy uložení původní příďové nohy je často mimo obrys příďové části letounu. Další výraznou nevýhodou ve většině řešení je nemožnost úplného zatáhnutí hlavního podvozku.

Vzhledem k ekonomickým, konstrukčním a technologickým aspektům je tak vybrána stávající varianta VUT100 zatahování příčně směrem k ose souměrnosti letounu. Úvodní přehled zatahování podvozků obdobných letounů rovněž ve většině případů poukazuje na zachování způsobu zatahování ve vztahu mateřský a dceřiný letoun. Přestože je preferována úplná zaměnitelnost jednotlivých dílů podvozků, nebude možné díky vyššímu zatížení podvozku při přistání tento požadavek dodržet. Práce navrhuje úpravu stávajících dílců tak, aby byla dodržena pevnostní a hmotnostní kritéria a počet nutných konstrukčních změn byl co možná nejmenší.

Diplomová práce může v budoucnu sloužit vnitřní potřebě společnosti Evektor nebo může být využita jako informační zdroj při řešení prací týkajících se problematiky přistávacího zařízení.

Seznam použitých zkratek a symbolů

a	vzdálenost mezi kolem příďového podvozku a polohou těžiště v podélné ose x [m]
A	bod doteku kola příďového podvozku se zemí (kapitola 3)
A	místo idealizace uložení vidlice ve válci (kapitola 8)
b	rozvor, délka podvozku (podélná vzdálenost mezi kolem příďového a hlavního podvozku) (kapitola 3) [m]
b	vzdálenost mezi polohou těžiště a koly hlavního podvozku v podélné ose x (kapitola 7) [m]
b	vzdálenost působišť síly v tlumiči a zatěžující síly válce v lokálním souřadnicovém systému vidlice v ose x (kapitola 8) [m]
b	kratší strana obdélníkového průřezu (kapitola 8) [mm]
B	bod doteku kola hlavního podvozku se zemí (kapitola 3)
B	rozchod (příčná vzdálenost mezi koly hlavního podvozku, kapitola 3) [m]
B	místo idealizace uložení tlumiče na vidlici (kapitola 8)
c	délka kolmice mezi spojnici podvozkových noh obou podvozků a průmětem polohy těžiště v rovině doteku kol se zemí (kapitola 3) [m]
c	délka prutu vidlice (kapitola 8) [m]
C	místo uložení podvozkové nohy (kapitola 8) [m]
CS	certifikační specifikace
c_{SAT}	délka střední aerodynamické tětiny [m]
d	přibližná délka VUT200 (podkapitola 7.1) [m]
d	rozvor, délka podvozku (podélná vzdálenost mezi kolem příďového a hlavního podvozku) (kapitola 7) [m]
d_s	maximální zdvih tlumiče [m]
d_t	maximální stlačení pneumatiky [m]
D	průmět polohy těžiště na rovinu země (kapitola 3)
D	místo uložení zlomovací vzpěry na těle podvozkové nohy (kapitola 8)
e	excentricita těžiště a hlavního podvozku v podélné ose x [m]

E	průsečík spojnice kol obou podvozků s kolmice procházející těžištěm v rovině doteku kol se zemí
E_k	kinetická energie přistávacího rázu [J]
E_p	potenciální energie v těžišti letounu během přistávacího rázu [J]
E	celková energie na jednu podvozkovou nohu hlavního podvozku [J]
f	součinitel bezpečnosti $[-]$
f_t	součinitel tření $[-]$
F_{odstr}	odstředivá síla [N]
F_t	třecí síla [N]
F_{tl}	osová síla v tlumiči [N]
$F_{tly,y}$	složka síly v tlumiči v lokálním souřadnicovém systému vidlice v ose y [N]
$F_{tly,y2}$	složka síly v tlumiči v lokálním souřadnicovém systému válce v ose y [N]
F_{Tx}	dopředná složka setrvačné síly při přistání působící v těžišti letounu [N]
F_{Ty}	svislá složka setrvačné síly při přistání působící v těžišti letounu [N]
$F_{v,x}$	složka zatěžující síly válce v jeho podélné ose x [N]
$F_{v,y}$	složka zatěžující síly válce v lokálním souřadnicovém systému válce v ose y [N]
g	tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]
G	tíhová síla [N]
GAMA	General Aviation Manufacturer Asociation
h	delší strana obdélníkového průřezu [mm]
H	výška těžiště [m]
i_z	poloměr setrvačnosti kolem příčné osy z [m]
J_{yT}	kvadratický moment průřezu v lokálním souřadnicovém systému průřezu kolem osy y k těžišti průřezu [mm^4]
k	rameno působíště síly zlomovací vzpěry vůči uložení podvozkové nohy v bočním směru [m]
K	součinitel výpočtu dopředné složky setrvačné síly při přistání určený podle předpisu CS 23 $[-]$

l	vyložení působíště reakční síly vůči uložení podvozkové nohy v bočním směru $[m]$
MKP	metoda konečných prvků
N	normálová síla $[N]$
n_s	provozní násobek zatížení setrvačnými silami $[-]$
nh_{SAT}	vzdálenost náběžné hrany střední aerodynamické tětiny od počátku souřadného systému v ose x $[mm]$
n_z	provozní násobek zatížení reakcí země $[-]$
K_s	účinnost tlumiče $[-]$
K_t	účinnost pneumatiky $[-]$
m	hmotnost $[kg]$
M	zatěžující moment od vyložení kola hlavní podvozkové nohy zavedený na tělo vidlice $[Nm]$
M_k	kroutící moment $[Nm]$
M_o	ohybový moment $[Nm]$
M_{oy}	ohybový moment v lokálním souřadnicovém systému válce k ose y $[Nm]$
M_{oz}	ohybový moment v lokálním souřadnicovém systému válce k ose z $[Nm]$
m_{TOW}	maximální vzletová hmotnost $[kg]$
P	směr pohledu
PZ	přistávací zařízení
R	reakční síla vznikající na hlavní podvozkové noze $[N]$
R_{1x}	složka reakční síly vznikající na příďové podvozkové noze v podélné ose x v odpovídajícím případě zatížení $[N]$
R_{1y}	složka reakční síly vznikající na příďové podvozkové noze ve svislém směru y v odpovídajícím případě zatížení $[N]$
R_{1z}	složka reakční síly vznikající na příďové podvozkové noze v bočním směru z v odpovídajícím případě zatížení $[N]$
R_{2x}	složka reakční síly vznikající na hlavním podvozku v podélné ose x v odpovídajícím případě zatížení $[N]$

$R_{2x, 1pn}$	složka reakční síly vznikající na podvozkové noze hlavního podvozku v podélné ose x v odpovídajícím případě zatížení $[N]$
R_{2y}	složka reakční síly vznikající na hlavním podvozku ve svislém směru y v odpovídajícím případě zatížení $[N]$
$R_{2y, 1pn}$	složka reakční síly vznikající na podvozkové noze hlavního podvozku ve svislém směru y v odpovídajícím případě zatížení $[N]$
R_{2z}	složka reakční síly vznikající na hlavním podvozku v bočním směru z v odpovídajícím případě zatížení $[N]$
$R_{2z, 1pn}$	složka reakční síly vznikající na podvozkové noze hlavního podvozku v bočním směru z v odpovídajícím případě zatížení $[N]$
$R_{p, 0,2}$	smluvní mez kluzu materiálu $[N]$
R_x	složka reakční síly na jednu podvozkovou nohu hlavního podvozku zavedená na tělo vidlice v jejím podélném směru x $[N]$
R_x'	složka reakční síly na jednu podvozkovou nohu hlavního podvozku v podélném směru x (početní zatížení) $[N]$
R_y	složka reakční síly na jednu podvozkovou nohu hlavního podvozku zavedená na tělo vidlice v jejím svislém směru y $[N]$
R_y'	složka reakční síly na jednu podvozkovou nohu hlavního podvozku ve svislém směru y (početní zatížení) $[N]$
R_{zv}	osová síla zlamovací vzpěry $[N]$
$R_{zv, y}$	složka osové síla zlamovací vzpěry v lokálním souřadnicovém systému zlamovací vzpěry v ose y $[N]$
S	plocha křídla (kapitola 3) $[m^2]$, $[ft^2]$
S	plocha průřezu (kapitola 8) $[m^2]$
t	vzdálenost mezi polohou těžiště a koly hlavního podvozku v podélné ose x (kapitola 3) $[m]$
T	poloha těžiště
T	posouvající síla $[N]$
T_y	posouvající síla v lokálním souřadnicovém systému válce k ose y $[N]$
T_z	posouvající síla v lokálním souřadnicovém systému válce k ose z $[N]$
TSO	Technical Standard Order

VPD	vzletová a přistávací dráha
VVÚ	výsledné vnitřní účinky
v_y	rychlost klesání $[m \cdot s^{-1}]$, $[ft \cdot s^{-1}]$
W	návrhová přistávací hmotnost $[kg]$, $[lb]$
W_k	modul průřezu v krutu $[mm^3]$
W_{red}	redukovaná přistávací hmotnost $[kg]$
$\frac{W}{S}$	plošné zatížení křídla při návrhové hmotnosti $[lb \cdot ft^{-2}]$
x_i'	poloha těžiště i-té hmotnostní položky v ose x $[m]$
x_T'	poloha těžiště v ose x $[m]$
$\overline{x_T}$	poloha průmětu těžiště na střední aerodynamickou tětivu letounu $[\% c_{SAT}]$
y_i'	poloha těžiště i-té hmotnostní položky v ose y $[m]$
y_T'	poloha těžiště v ose y $[m]$
z_i'	poloha těžiště i-té hmotnostní položky v ose z $[m]$
ZRT	základní rovina trupu
z_T'	poloha těžiště v ose z $[m]$
α	úhel mezi směrem síly při přistání a svislou osou y (kapitola 3) [úhlový °]
α	úhel svírající osa zlomovací vzpěry s osou těla podvozkové nohy (kapitola 8) [úhlový °]
β	úhel, který svírá podélná osa vidlice s absolutní horizontálou při úplném stlačení tlumiče [úhlový °]
β	součinitel uplatněný při výpočtu modelu průřezu v krutu [-]
ϵ	úhel mezi kolmicí těžiště na rovinu země a spojnicí těžiště - bod doteku kola hlavní podvozkové nohy se zemí [úhlový °]
γ	úhel, který svírá osa tlumiče s podélnou osou vidlice při úplném stlačení tlumiče [úhlový °]
σ	normálové napětí $[MPa]$
σ_{M_o}	napětí od ohybového momentu $[MPa]$
σ_N	napětí od normálové síly $[MPa]$
σ_{red}	redukované napětí $[MPa]$
τ	smykové napětí $[MPa]$

Seznam obrázků

1.1	PZ se záďovým podvozkem je vybaveno Aero Ae-45 z konce 40. let	16
1.2	Teleskopická hlavní podvozková noha Boeingu 727 [33]	20
1.3	Teleskopická hlavní podvozková noha Boeingu 727 na reálném letounu . . .	20
2.1	Zatahování příďové podvozkové nohy Airbusu A320 proti směru letu [31] .	22
2.2	Zatahování hlavní podvozkové nohy Airbusu A320 směrem k ose souměr- nosti letounu [30]	23
2.3	Uložení podvozkové nohy a zkrutné trubky zatahovacího mechanismu Cessny 310/320 [43]	24
2.4	Pravé křídlo, zlomovací vzpěra se zámkem a spodní pohled na motorovou gondolu Piperu Aztec [12, 32, 34]	25
2.5	Levá noha, závěs a zlomovací vzpěra se zámkem Piperu Aztec [20, 34] . . .	26
2.6	Přistávací zařízení L-200 [14, 15, 17]	26
2.7	Piper Comanche a Twin Comanche [8, 18]	27
2.8	Konstrukce levého křídla Piperu Twin Comanche [42]	27
2.9	Řez Piperem PA-34 Seneca [45]	28
2.10	Piper Cherokee Arrow a Seneca [1, 13]	28
2.11	Centroplán a hlavní podvozková noha DA-42 [39]	29
2.12	Beechcraft Duchess a Piper PA-44 Seminole [35, 46]	30
2.13	Modulární konstrukce rodiny VUT100 [59]	31
2.14	Motor Lycoming TIO-360-A1A	31
2.15	Boční pohled na VUT200 (bokorys)	32
2.16	Přední pohled na VUT200 (nárýs)	32
2.17	Horní pohled na VUT200 (půdorys)	33
3.1	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty kon- strukčního řešení 1	38
3.2	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukč- ního řešení 1	39
3.3	Stanovení rozvoru [4]	43
3.4	Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 1 (se zacho- váním původní vertikální polohy)	43
3.5	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty kon- strukčního řešení 2	44
3.6	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukč- ního řešení 2	44
3.7	Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 2 (se změnou vertikální polohy uložení)	45
3.8	Zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 2	46
3.9	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty kon- strukčního řešení 3	46
3.10	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukč- ního řešení 3	47

3.11	Vysunutý a zasunutý podvozek se zachováním varianty konstrukčního řešení 3 (původní vertikální polohy)	47
3.12	Polohy zasunuté hlavní podvozkové nohy v obou řešení uspořádání 2	48
3.13	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4	48
3.14	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4	48
3.15	Vysunutý a zasunutý podvozek se změnou vertikální polohy uložení II	49
3.16	Detail zasunuté podvozkové nohy v druhém řešení	49
4.1	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 5	51
4.2	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 5	51
4.3	Vysunutý a zasunutý podvozek se zachováním původní vertikální polohy III	52
4.4	Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 6 (se změnou rozchodu hlavního podvozku)	53
4.5	Zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 6	53
4.6	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7	54
4.7	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7	54
4.8	Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 7 (se zachováním původní vertikální polohy)	55
4.9	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 8	55
4.10	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 8	56
4.11	Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 8 (se změnou vertikální polohy uložení)	56
5.1	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9	57
5.2	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9	58
5.3	Vysunutý a zasunutý podvozek varianty konstrukčního řešení 9 (vertikální poloha podle VUT100)	58
5.4	Vysunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 9	59
5.5	Zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 9 I	59
5.6	Zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 9 II	59
5.7	Vysunutá a zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 9 v pohledu shora	60
5.8	Vysunutá a zasunutá hlavní podvozková noha varianty konstrukčního řešení 9 ve spodním pohledu	60
7.1	Excentricita těžiště a hlavního podvozku	66
7.2	Zatížení při stání na zemi	68
7.3	Výpočet ramen skloněných reakcí	70

7.4	Skloněné reakce při vodorovném přistání	71
8.1	Uložení a úplné uvolnění vidlice	77
8.2	Poloha vidlice při úplném stlačení	77
8.3	Reakce na vidlici	78
8.4	VVÚ vidlice	79
8.5	Kontrolovaný průřez	80
8.6	Průběh smykového napětí v obdélníkovém průřezu [48]	80
8.7	Průběh napětí na původní vidlici VUT100 pod početním zatížením VUT200 I	81
8.8	Průběh napětí na původní vidlici VUT100 pod početním zatížením VUT200 II	81
8.9	Průběh napětí na vidlici s plným příčným průřezem pod početním zatížením I	82
8.10	Průběh napětí na vidlici s plným příčným průřezem pod početním zatížením II	82
8.11	Průběh napětí na vidlici s plným příčným průřezem a žebrem pod početním zatížením I	82
8.12	Průběh napětí na vidlici s plným příčným průřezem a žebrem pod početním zatížením II	83
8.13	Původní a upravená vidlice	83
8.14	Světlá vzdálenost mezi nábojem a vidlicí	83
8.15	Vidlice se smluvní mezí kluzu 2000 MPa	84
8.16	Zatížení válce	84
8.17	Výpočet osově síly zlomovací vzpěry I	85
8.18	Výpočet osově síly zlomovací vzpěry II	85
8.19	VVÚ válce	86
8.20	Průběh napětí na původním válci VUT100 pod početním zatížením VUT200	86
8.21	Průběh napětí na válci z lepšího materiálu a s výztuhou pod početním zatížením	87
8.22	Původní a upravený válec	87
8.23	Boční pohled na VUT200 s vysunutým a zasunutým podvozkem	122
8.24	Přední pohled na VUT200 s vysunutým a zasunutým podvozkem	123
8.25	Spodní pohled na VUT200 s vysunutým a zasunutým podvozkem (otvory v potahu centroplánu a přídová „kaplička“ - z VUT100, která má menší rozchod i rozvor)	123
8.26	Hlavní podvozková noha VUT200 II	124
8.27	Hlavní podvozková noha VUT200 I	125
8.28	MKP model vidlice	126
8.29	MKP model válce	127

Seznam tabulek

3.1	Poloha těžiště konstrukční skupiny Pohonná soustava	36
3.2	Poloha těžiště konstrukční skupiny Instalace motoru	36
3.3	Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 1	37
3.4	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 1	38
3.5	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 1	39
3.6	Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 1	40
3.7	Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 1	40
3.8	Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 1	41
3.9	Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 1	41
3.10	Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 2	45
3.11	Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 3	47
3.12	Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 4	49
4.1	Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 5	52
4.2	Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 6	53
4.3	Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 7	54
4.4	Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 8	56
5.1	Rozdíl polohy těžiště letounu při vysunutém a zasunutém podvozku varianty konstrukčního řešení 9	58
8.1	Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 2	106
8.2	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 2	106
8.3	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 2	107
8.4	Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 2	107
8.5	Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 2	108
8.6	Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 2	108
8.7	Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 3	109

8.8	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 3	109
8.9	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 3	109
8.10	Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 3	110
8.11	Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 3	110
8.12	Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 3	110
8.13	Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 4	111
8.14	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4	111
8.15	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4	111
8.16	Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 4	112
8.17	Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4	112
8.18	Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4	112
8.19	Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 5	113
8.20	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 5	113
8.21	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního uspořádání 5	113
8.22	Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 5	114
8.23	Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 5	114
8.24	Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 5	114
8.25	Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 6	115
8.26	Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 6	115
8.27	Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 6	115
8.28	Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 7	116
8.29	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7	116
8.30	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7	116
8.31	Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 7	117
8.32	Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7	117
8.33	Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7	117
8.34	Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 8	118

8.35	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 8	118
8.36	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 8	118
8.37	Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 8	119
8.38	Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 9	120
8.39	Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9	120
8.40	Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9	120
8.41	Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 9	121
8.42	Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9	121
8.43	Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9	121

Literatura

- [1] ALESSI, A. *Picture of the Piper PA-34-200 Seneca*. [Fotografie]. [Online]. [airliners.com](http://www.airliners.com). [cit. 2015-03-09].
Dostupné z <http://www.airliners.net/photo/Piper-PA-34-200-Seneca/2299092/L/&sid=25ca51af76dfe77c25fb32f358e09231>
- [2] BARTONĚK, J. *Návrh zatahovacího podvozku pro letoun NG4*. [Diplomová práce]. Brno: FSI VUT v Brně, 2011. 64 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Matěják.
- [3] CONWAY, H. G. *Landing gear design*. Londýn: Chapman & Hall Ltd., 1958. 342 s.
- [4] DANĚK, V. *Projektování letadel*. Brno: Nakladatelství VUT Brno, 1991. 148 s.
- [5] HLAVÁČEK, J. *Konstrukce a pevnost letadel, díl I.* Brno: VAAZ, 1970. 186 s.
- [6] HLAVÁČEK, J. *Konstrukce a pevnost letadel, díl II.* Brno: VAAZ, 1971. 326 s.
- [7] CHREN, T. *Návrh podvozku pro letoun Rapid 600*. [Diplomová práce]. Brno: FSI VUT v Brně, 2010. 66 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc..
- [8] CHRISTIE, A. *Picture of the Piper PA-30 Twin Comanche*. [Fotografie]. [Online]. [airliners.com](http://www.airliners.com). [cit. 2015-03-02].
Dostupné z <http://www.airliners.net/photo/Piper-PA-30-Twin/2202804/L/&sid=6e5ec9a95688202a45635eb9dd3b6cc3>
- [9] JURAČKA, J. *Poznámky z přednášek kurzu Stavba letadel*. Brno: FSI VUT v Brně, 2012.
- [10] KLEMENT, J. *Letecké konstrukční oceli*. [Prezentace]. Brno: FSI VUT v Brně, 2013.
Dostupné z <http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/matlet/OCELI.pdf>
- [11] KLEMENT, J. *Technologie tepelného zpracování*. [Prezentace]. Brno: FSI VUT v Brně.
Dostupné z <http://lu.fme.vutbr.cz/~klement/OT1-Technologie%20tepeln%c3%a9ho%20zpracov%c3%a1n%c3%ad.pptx>
- [12] KRYST, M. *Picture of the Piper PA-23-160 Apache*. [Fotografie]. [Online]. [airliners.com](http://www.airliners.com). [cit. 2015-02-28].
Dostupné z <http://www.airliners.net/photo/Piper-PA-23-160-Apache/2071535/L/&sid=81ba2dde3ca5cf7ce07e92bcc01e3390>
- [13] KRYST, M. *Picture of the Piper PA-28R-200 Cherokee Arrow II*. [Fotografie]. [Online]. [airliners.com](http://www.airliners.com). [cit. 2015-03-09].
Dostupné z <http://www.airliners.net/photo/Piper-PA-28R-200-Cherokee/2560346/&sid=83f94ef6db46513e264fae2050a5ea38>

-
- [14] LEBEDA, A. *Picture of the Let L-200D Morava*. [Fotografie]. [Online]. [airliners.com](http://www.airliners.com). [cit. 2015-03-10]. Dostupné z <http://www.airliners.net/photo/Let-L-200D-Morava/1507510/L/&sid=7a8cc5ba4e18ea1c60e81c90cd0e903b>
- [15] MERTL, V. *Konstrukce a projektování letadel*. Brno: FSI VUT v Brně, 2000. 136 s. ISBN 80-214-1789-7.
- [16] MIKULA, J. *Konstrukce a projektování letadel II*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. 246 s. ISBN 80-01-03338-4.
- [17] MULLER, D. *Porovnání provozních a ekonomických parametrů výcvikových letounů L-200, DA-42TDI a Tecnam P-2006T*. [Bakalářská práce]. Brno: FSI VUT v Brně, 2009. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Imriš, Ph.D..
- [18] NITCHIPOROVITCH, I. *Picture of the Piper PA-24-250 Comanche*. [Fotografie]. [Online]. [airliners.com](http://www.airliners.com). [cit. 2015-03-02]. Dostupné z <http://www.airliners.net/photo/Piper-PA-24-250-Comanche/2002100/L/&sid=cda47f54a1a77e2bc86b91e6f1e0437b>
- [19] NOVÁK, J. *The PBN Concept overview*. [Online]. Vives Oostende, 2013. Dostupné z <http://ulozto.cz/xByT4Tzx/pbn-overview-pdf>
- [20] NORTH, W. *Aircraft Retraction Systems*. [Online]. San Diego Miramar College. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z <http://faculty.sdmiramar.edu/faculty/sdccd/wnorth/103d/3AVIM103D.pdf>
- [21] PAULINY, J. *Návrh podvozku čtyřmístného jednomotorového letounu*. [Diplomová práce]. Brno: FSI VUT v Brně, 2014. 76 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D..
- [22] PÁVEK, J. *Konstrukce a projektování letadel II*. Praha: FS ČVUT v Praze, 1984. 244 s.
- [23] PAZMANY, L. *Landing gear design for light aircraft - Vol.1*. San Diego: Pazmany Aircraft Corporation, 1986. 252 s. ISBN 0-9616-777-0-8.
- [24] PLHAL, M. *Výpočet přistávacího zařízení s uvážením materiálové a geometrické nelinearity*. [Disertační práce]. Brno: FSI VUT v Brně, 2004.
- [25] RAIDA, R. *Návrh dvoumotorového letounu VUT200 s turbovrtulovým motorem TP 100*. [Diplomová práce]. Brno: FSI VUT v Brně, 2012. 77 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc..
- [26] SLAVĚTÍNSKÝ, D. *Koncepce přistávacího zařízení*. [Online]. [cit. 2015-02-15]. Dostupné z http://www.slavetind.cz/stavba/koncepce/Koncepce_prist_zar.aspx

- [27] STANFIELD, R. *Piper's New Twin Comanche*. [Online]. [cit. 2015-03-06]. Flying, 1963, roč. 73, č. 1. Dostupné z https://books.google.cz/books?id=EBHsiSx3bGIC&pg=PA4&lpg=PA4&dq=flying+july+1963+volume+73+number+1&source=bl&ots=0FnXICgKw2&sig=_2XrGifdtaIF5roj7WJsL_fRg_4&hl=en&sa=X&ei=mcz5VNnYC4fvUvT0gvAH&ved=0CCEQ6AEwAA#v=onepage&q=flying%20july%201963%20volume%2073%20number%201&f=false
- [28] ŠULŽENKO, M.N. *Konstrukce letadel*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1954. 424 s.
- [29] TEMEL, T. *Rozbor hmotností a centrází letounů řady VUT100 a VUT200*. Výpočtová zpráva EVUT002.01-W, interní dokument společnosti Evektor. 51 s.
- [30] *A320mret.avi: učební video*. Vives Oostende, 2013.
- [31] *A320nret.avi: učební video*. Vives Oostende, 2013.
- [32] *Aztec Parts Catalog*. Vero Beach: Piper Aircraft Corporation, 1984.
- [33] *Boeing 727 Maintenance Manual: Chapter 32 Landing gear*. 196 s. 2002.
- [34] *Aztec Service Manual*. [Online]. aeroamigo.com. [cit. 2015-02-27]. Dostupné z <http://www.aeroamigo.com/pdf/sm%20753-564.pdf>
- [35] *Beechcraft Duchess cutaway*. [Online]. flightglobal.com. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z <http://www.flightglobal.com/airspace/media/generalaviationcutaways/images/5967/beechcraft-duchess-cutaway.jpg>
- [36] *Certifikační specifikace pro letouny kategorie normální, cvičná, akrobatická a pro sběrnou dopravu CS-23*. Kolín nad Rýnem: Evropská agentura pro bezpečnost v letectví, 2012.
- [37] *Cessna 310 annual*. [Online]. youtube.com. [cit. 2015-02-26]. Dostupné z <https://www.youtube.com/watch?v=YiwasPZn70g&index=6&list=PLGNK8AaTfVOTPqJORdeaJtQCosBf0iZi2>
- [38] *Comanche 260C Specifications*. [Online]. barnstormers.com. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z http://www.barnstormers.com/classified_files/9/7/1/5/3/9/971539-Comanche_260C_Specifications.pdf
- [39] *DA42 Series Airplane Maintenance Manual*. [Online]. diamondaircraft.com. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z http://support.diamond-air.at/fileadmin/uploads/files/after_sales_support/DA42_New_Generation/Airplane_Maintenance_Manual/Basic_Manual/70215-DA42-NG-AMM-r2.pdf
- [40] *DA42 Specs & Options*. [Online]. diamondaircraft.com. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z http://www.diamondaircraft.com/aircraft/da42/specs_da42_tdi.php

-
- [41] *Operator's Manual Textron Lycoming Aircraft Engines O-360 Series*. [Online]. aeroclub-lehavre.e-monsite.com. [cit. 2015-03-11]. Dostupné z <http://aeroclub-lehavre.e-monsite.com/medias/files/dr400-lycoming-o-360-operator-s-manual.pdf>
- [42] *PA-24 Comanche Parts Catalog*. [Online]. acabidjan.ci. [cit. 2015-03-06]. Dostupné z <http://acabidjan.ci/AVIONS/TOP/PartsCatalogPA24.pdf>
- [43] *Parts Catalog 310, 310B, 310C, 310D*. [Online]. hsvwings.com. [cit. 2015-02-26]. Dostupné z <http://www.hsvwings.com/SOFH%20Aircraft/C310PC55.pdf>
- [44] *Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual for the Beechcraft Duchess 76*. [Online]. mesziar.hu. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z <http://mesziar.hu/wp-content/uploads/2013/02/1978be76.pdf>
- [45] *Piper PA34 Seneca II cutaway*. [Online]. eaachapter837.org. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z http://www.eaachapter837.org/pages/media/aircraft_cutaways/piper-pa34-seneca-cutaway.jpg
- [46] *Piper PA44 Seminole cutaway*. [Online]. eaachapter837.org. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z http://www.eaachapter837.org/pages/media/aircraft_cutaways/piper-pa44-seminole-cutaway.jpg
- [47] *Piper Seminole PA-44-180*. [Online]. rebay.at. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z http://www.rebay.at/fliegen/manuals/pa44_manual.pdf
- [48] *Prosté kroucení: učební text*. [Online]. FD ČVUT v Praze. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z <http://mech.fd.cvut.cz/education/bachelor/k618am2/download/am2-proste-krouceni-II.doc&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=cz>
- [49] *Seneca II manual*. [Online]. Rochester Air Center. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z <http://ehfc.net/senecaiimanual.pdf>
- [50] *Service Letter No. 782B*. [Online]. comanchegear.com. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z <http://www.comanchegear.com/LANDING%20GEAR/SL-782B.pdf>
- [51] *The Cessna 310/320*. [Online]. airliners.net. [cit. 2015-02-26]. Dostupné z <http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=149>
- [52] *The Piper PA-23 Apache/Aztec*. [Online]. airliners.net. [cit. 2015-02-27]. Dostupné z <http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=302>
- [53] *The Piper PA-24 Comanche*. [Online]. airliners.net. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z <http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=301>
- [54] *The Piper PA-28R Cherokee Arrow*. [Online]. airliners.net. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z <http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=305>
- [55] *The Piper PA-30/39 Twin Comanche*. [Online]. airliners.net. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z <http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=307>

-
- [56] *The Piper PA-34 Seneca*. [Online]. airliners.net. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z <http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=308>
- [57] *Three View of Twin Comanche PA-30*. [Online]. esscoaircraft.com. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z https://www.esscoaircraft.com/popup.aspx?src=/images/product/large/5710_3_.jpg
- [58] *VUT100 Cobra*. [Online]. evektoraircraft.com. [cit. 2015-03-03]. Dostupné z <http://www.evektoraircraft.com/cs/letadla/vut100-cobra/technical-data>
- [59] *VUT100 Cobra Next Generation All-metal Aircraft*. [Online]. airalbatros-group.com. [cit. 2015-03-03]. Dostupné z www.airalbatros-group.com/assets/Leaflet-Evektor_cobra-2010.pdf

Příloha 1: Poloha těžiště

Uspořádání 1

Varianta konstrukčního řešení 2

Vysunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek vysunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	2,835	-1,260	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	2,835	-1,260	1,620
27	32	Brzda L	3,000	2,835	-1,260	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	2,835	-1,260	1,620
29	32	Pneu L	4,200	2,835	-1,260	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	2,835	-1,260	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	2,642	-0,970	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	2,642	-0,970	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	0,945	-1,260	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	0,945	-1,260	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	0,971	-0,830	0,000
	32	Ostatní	0,200	2,310	-1,082	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,236	-1,061	0,000

Tabulka 8.1: Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 2

Prázdný letoun celkem

Protože se ve výpočtu těžiště celého letounu mění pouze hodnota konstrukční skupiny 32: Podvozek vysunutý, uvádím pouze výslednou polohu těžiště letounu. Ostatní položky konstrukčních skupin jsou shodné s variantou konstrukčního řešení 1. Postup je analogický pro všechny varianty konstrukčního řešení.

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,594	-0,351	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
7,7			

Tabulka 8.2: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 2

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

Protože se ve výpočtu těžiště celého letounu v jeho krajních hmotnostních konfiguracích mění pouze hodnota konstrukční položky 1: VUT200 SEW s vysunutým podvozkem, uvádím pouze

výslednou polohu těžiště letounu. Ostatní položky konstrukčních skupin jsou shodné s variantou konstrukčního řešení 1. Postup je analogický pro všechny varianty konstrukčního řešení.

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2624	2870
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	9,9	27,8

Tabulka 8.3: Krajiní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 2

Zasunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek zasunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	3,310	-0,760	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	3,310	-0,760	1,620
27	32	Brzda L	3,000	3,310	-0,760	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	3,310	-0,760	1,620
29	32	Pneu L	4,200	3,310	-0,760	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	3,310	-0,760	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	2,855	-0,810	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	2,855	-0,810	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,601	-0,740	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,601	-0,740	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,246	-0,635	0,000
	32	Ostatní	0,200	2,633	-0,747	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,584	-0,752	0,000

Tabulka 8.4: Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 2

Prázdný letoun celkem

Protože se ve výpočtu těžiště celého letounu mění pouze hodnota konstrukční skupiny 32: Podvozek zasunutý, uvádím pouze výslednou polohu těžiště letounu. Ostatní položky konstrukčních skupin jsou shodné s variantou konstrukčního řešení 1. Postup je analogický pro všechny varianty konstrukčního řešení.

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,616	-0,331	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
9,3			

Tabulka 8.5: Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 2

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

Protože se ve výpočtu těžiště celého letounu v jeho krajních hmotnostních konfiguracích mění pouze hodnota konstrukční položky 1: VUT200 SEW se zasunutým podvozkem, uvádím pouze výslednou polohu těžiště letounu. Ostatní položky konstrukčních skupin jsou shodné s variantou konstrukčního řešení 1. Postup je analogický pro všechny varianty konstrukčního řešení.

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2645	2885
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	11,4	28,9

Tabulka 8.6: Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 2

Uspořádání 2

Varianta konstrukčního řešení 3

Vysunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek vysunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	3,540	-1,110	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	3,540	-1,110	1,620
27	32	Brzda L	3,000	3,540	-1,110	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	3,540	-1,110	1,620
29	32	Pneu L	4,200	3,540	-1,110	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	3,540	-1,110	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	3,347	-0,820	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	3,347	-0,820	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,242	-1,110	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,242	-1,110	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,268	-0,680	0,000
	32	Ostatní	0,200	3,015	-0,932	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,826	-0,911	0,000

Tabulka 8.7: Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 3

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,623	-0,341	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
9,8			

Tabulka 8.8: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 3

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2651	2889
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	11,9	29,2

Tabulka 8.9: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 3

Zasunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek zasunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	4,015	-0,610	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	4,015	-0,610	1,620
27	32	Brzda L	3,000	4,015	-0,610	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	4,015	-0,610	1,620
29	32	Pneu L	4,200	4,015	-0,610	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	4,015	-0,610	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	3,560	-0,660	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	3,560	-0,660	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,898	-0,590	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,898	-0,590	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,543	-0,485	0,000
	32	Ostatní	0,200	3,338	-0,597	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	3,174	-0,602	0,000

Tabulka 8.10: Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 3

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,645	-0,322	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
11,4			

Tabulka 8.11: Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 3

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2672	2904
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	13,4	30,3

Tabulka 8.12: Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 3

Varianta konstrukčního řešení 4

Vysunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek vysunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	3,340	-1,190	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	3,340	-1,190	1,620
27	32	Brzda L	3,000	3,340	-1,190	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	3,340	-1,190	1,620
29	32	Pneu L	4,200	3,340	-1,190	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	3,340	-1,190	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	3,147	-0,900	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	3,147	-0,900	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,105	-1,190	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,105	-1,190	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,131	-0,760	0,000
	32	Ostatní	0,200	2,815	-1,012	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,644	-0,991	0,000

Tabulka 8.13: Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 4

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,619	-0,346	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
9,5			

Tabulka 8.14: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2648	2887
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	11,6	29,0

Tabulka 8.15: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4

Zasunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek zasunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	3,815	-0,690	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	3,815	-0,690	1,620
27	32	Brzda L	3,000	3,815	-0,690	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	3,815	-0,690	1,620
29	32	Pneu L	4,200	3,815	-0,690	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	3,815	-0,690	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	3,360	-0,740	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	3,360	-0,740	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,761	-0,670	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,761	-0,670	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,406	-0,565	0,000
	32	Ostatní	0,200	3,338	-0,677	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,992	-0,682	0,000

Tabulka 8.16: Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 4

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,641	-0,327	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
11,2			

Tabulka 8.17: Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2668	2901
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	13,1	30,1

Tabulka 8.18: Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 4

Uspořádání 3

Varianta konstrukčního řešení 5

Vysunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek vysunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	2,960	-1,110	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	2,960	-1,110	1,620
27	32	Brzda L	3,000	2,960	-1,110	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	2,960	-1,110	1,620
29	32	Pneu L	4,200	2,960	-1,110	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	2,960	-1,110	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	2,776	-0,820	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	2,776	-0,820	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,070	-1,110	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,070	-1,110	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,096	-0,680	0,000
	32	Ostatní	0,200	2,435	-0,932	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,364	-0,911	0,000

Tabulka 8.19: Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 5

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,602	-0,341	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
8,3			

Tabulka 8.20: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 5

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2632	2876
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	10,5	28,2

Tabulka 8.21: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního uspořádání 5

Zasunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek zasunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	2,675	-0,810	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	2,675	-0,810	1,620
27	32	Brzda L	3,000	2,675	-0,810	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	2,675	-0,810	1,620
29	32	Pneu L	4,200	2,675	-0,810	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	2,675	-0,810	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	2,639	-0,724	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	2,639	-0,724	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,726	-0,590	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,726	-0,590	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,371	-0,485	0,000
	32	Ostatní	0,200	2,758	-0,597	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,322	-0,694	0,000

Tabulka 8.22: Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 5

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,599	-0,328	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
8,1			

Tabulka 8.23: Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 5

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2629	2874
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	10,3	28,1

Tabulka 8.24: Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 5

Varianta konstrukčního řešení 6

Zasunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek zasunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	2,675	-0,610	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	2,675	-0,610	1,620
27	32	Brzda L	3,000	2,675	-0,610	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	2,675	-0,610	1,620
29	32	Pneu L	4,200	2,675	-0,610	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	2,675	-0,610	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	2,639	-0,660	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	2,639	-0,660	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,726	-0,590	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,726	-0,590	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,371	-0,485	0,000
	32	Ostatní	0,200	2,758	-0,597	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,322	-0,602	0,000

Tabulka 8.25: Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 6

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,593	-0,322	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
7,6			

Tabulka 8.26: Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 6

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2624	2870
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	9,8	27,8

Tabulka 8.27: Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 6

Uspořádání 4

Varianta konstrukčního řešení 7

Vysunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek vysunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	3,545	-1,110	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	3,545	-1,110	1,620
27	32	Brzda L	3,000	3,545	-1,110	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	3,545	-1,110	1,620
29	32	Pneu L	4,200	3,545	-1,110	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	3,545	-1,110	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	3,352	-0,820	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	3,352	-0,820	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,159	-1,110	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,159	-1,110	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,185	-0,680	0,000
	32	Ostatní	0,200	3,020	-0,932	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,807	-0,911	0,000

Tabulka 8.28: Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 7

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,630	-0,341	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
10,3			

Tabulka 8.29: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2658	2894
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	12,4	29,6

Tabulka 8.30: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7

Zasunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek zasunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	3,213	-0,760	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	3,213	-0,760	1,620
27	32	Brzda L	3,000	3,213	-0,760	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	3,213	-0,760	1,620
29	32	Pneu L	4,200	3,213	-0,760	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	3,213	-0,760	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	3,203	-0,708	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	3,203	-0,708	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,834	-0,590	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,834	-0,590	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	1,460	-0,485	0,000
	32	Ostatní	0,200	3,154	-0,698	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,745	-0,671	0,000

Tabulka 8.31: Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 7

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,626	-0,326	0,000
$\bar{x}_T$ [% c_{SAT}]			
10,0			

Tabulka 8.32: Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2654	2891
Centráž $\bar{x}_T$ v % SAT	12,1	29,4

Tabulka 8.33: Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 7

Varianta konstrukčního řešení 8

Vysunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek vysunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	3,545	-1,265	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	3,545	-1,265	1,620
27	32	Brzda L	3,000	3,545	-1,265	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	3,545	-1,265	1,620
29	32	Pneu L	4,200	3,545	-1,265	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	3,545	-1,265	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	3,020	-0,975	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	3,020	-0,975	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	0,682	-1,265	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	0,682	-1,265	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	0,708	-0,835	0,000
	32	Ostatní	0,200	3,020	-1,087	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,548	-1,066	0,000

Tabulka 8.34: Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 8

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,613	-0,351	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
9,1			

Tabulka 8.35: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 8

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2642	2883
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	11,2	28,7

Tabulka 8.36: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 8

Zasunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek zasunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	3,081	-0,765	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	3,081	-0,765	1,620
27	32	Brzda L	3,000	3,081	-0,765	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	3,081	-0,765	1,620
29	32	Pneu L	4,200	3,081	-0,765	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	3,081	-0,765	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	3,150	-0,815	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	3,150	-0,815	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,338	-0,745	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,338	-0,745	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	0,983	-0,640	0,000
	32	Ostatní	0,200	3,343	-0,752	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,546	-0,757	0,000

Tabulka 8.37: Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 8

Uspořádání 5

Varianta konstrukčního řešení 9

Vysunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek vysunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	3,215	-1,125	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	3,215	-1,125	1,620
27	32	Brzda L	3,000	3,215	-1,120	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	3,215	-1,120	1,620
29	32	Pneu L	4,200	3,215	-1,125	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	3,215	-1,125	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	3,022	-0,820	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	3,022	-0,820	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	0,665	-1,125	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	0,665	-1,125	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	0,691	-0,700	0,000
	32	Ostatní	0,200	2,690	-0,932	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,431	-0,921	0,000

Tabulka 8.38: Poloha těžiště skupiny Podvozek vysunutý varianty konstrukčního řešení 9

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,605	-0,342	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
8,5			

Tabulka 8.39: Poloha těžiště prázdného letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2635	2878
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	10,7	28,4

Tabulka 8.40: Krajní polohy těžiště letounu s vysunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9

Zasunutý podvozek

Konstrukční skupina 32: Podvozek zasunutý

Poř. č. i	Spec. GAMA 2	Název hmotnostní položky	Hmotnost	Vzdálenost těžiště hmot. položky od počátku souř. soust. letounu		
			m_i [kg]	x_i' [m]	y_i' [m]	z_i' [m]
25	32	Kolo hlavní L	3,800	3,200	-0,585	-1,620
26	32	Kolo hlavní P	3,800	3,200	-0,585	1,620
27	32	Brzda L	3,000	3,200	-0,585	-1,620
28	32	Brzda P	3,000	3,200	-0,585	1,620
29	32	Pneu L	4,200	3,200	-0,585	-1,620
30	32	Pneu P	4,200	3,200	-0,585	1,620
31	32	Noha hlavní L	12,250	3,022	-0,500	-1,620
32	32	Noha hlavní P	12,250	3,022	-0,500	1,620
33	32	Kolo příďové	1,800	1,321	-0,590	0,000
34	32	Pneu příďové	3,000	1,321	-0,590	0,000
34	32	Noha příďová	13,400	0,966	-0,485	0,000
	32	Ostatní	0,200	3,013	-0,597	0,000
			$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
			64,900	2,532	-0,533	0,000

Tabulka 8.41: Poloha těžiště skupiny Podvozek zasunutý varianty konstrukčního řešení 9

Prázdný letoun celkem

$\sum m_i$ [kg]	x_T' [m]	y_T' [m]	z_T' [m]
1026,844	2,612	-0,317	0,000
$\overline{x_T}$ [% c_{SAT}]			
9,0			

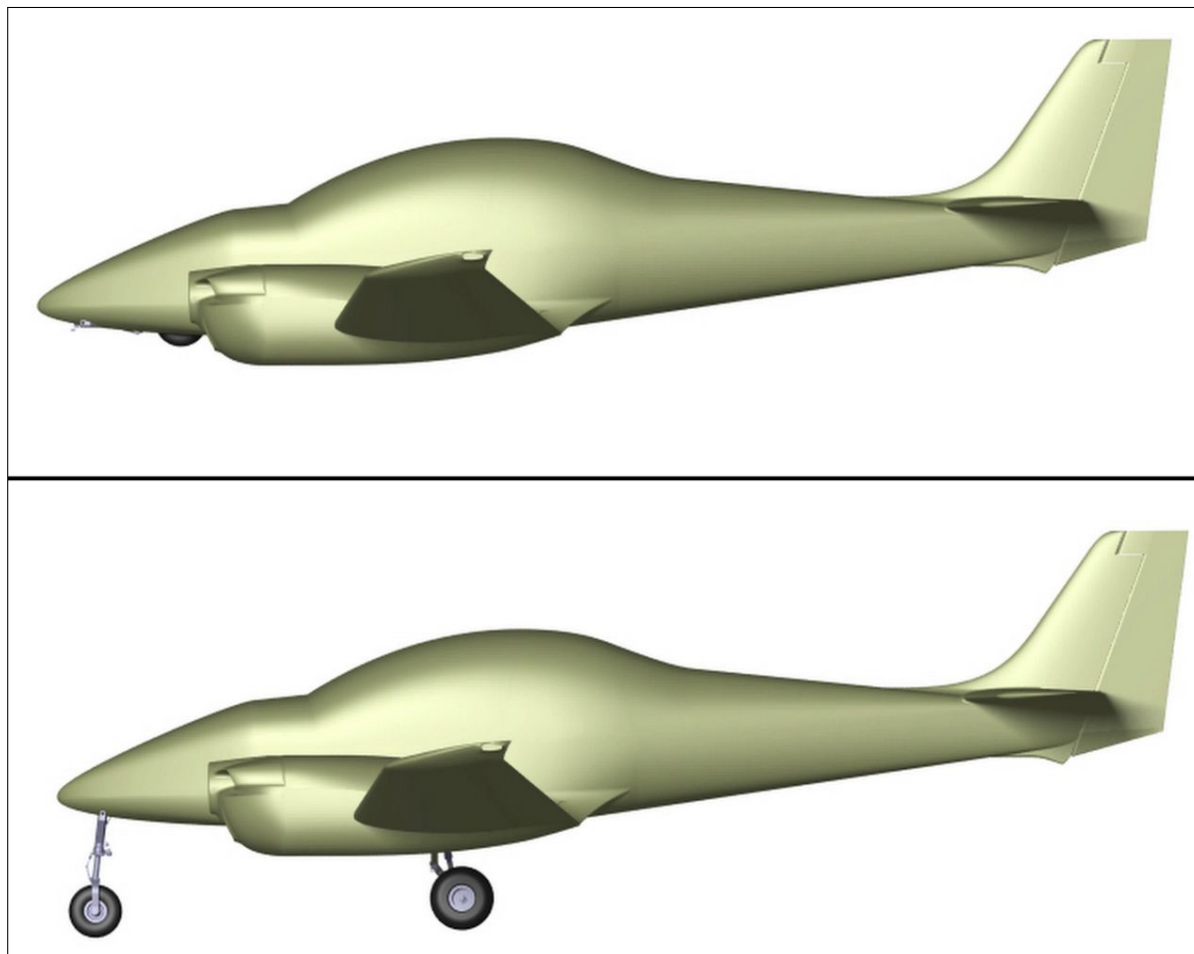
Tabulka 8.42: Poloha těžiště prázdného letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9

Hmotnostní konfigurace - krajní polohy těžiště

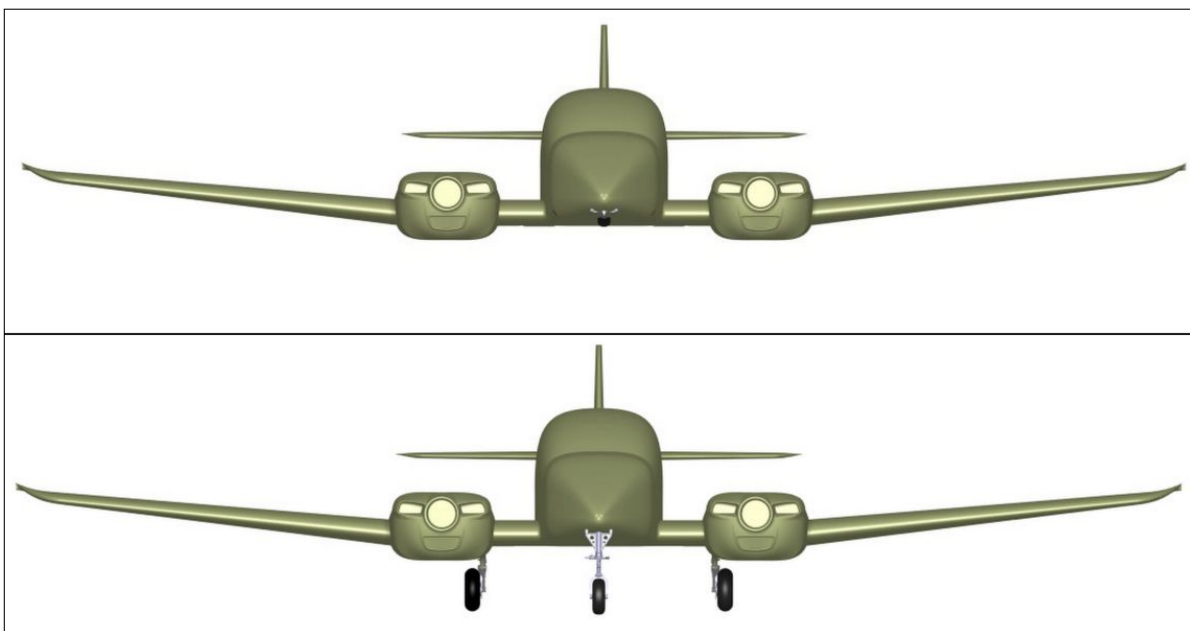
	Rozložení proměnných hmot Označení hmot. konfigurace	
	1	22a
Celková hmotnost m [kg]	1106,8	1551,8
Centráž x_T' [mm]	2641	2882
Centráž $\overline{x_T}$ v % SAT	11,1	28,7

Tabulka 8.43: Krajní polohy těžiště letounu se zasunutým podvozkem varianty konstrukčního řešení 9

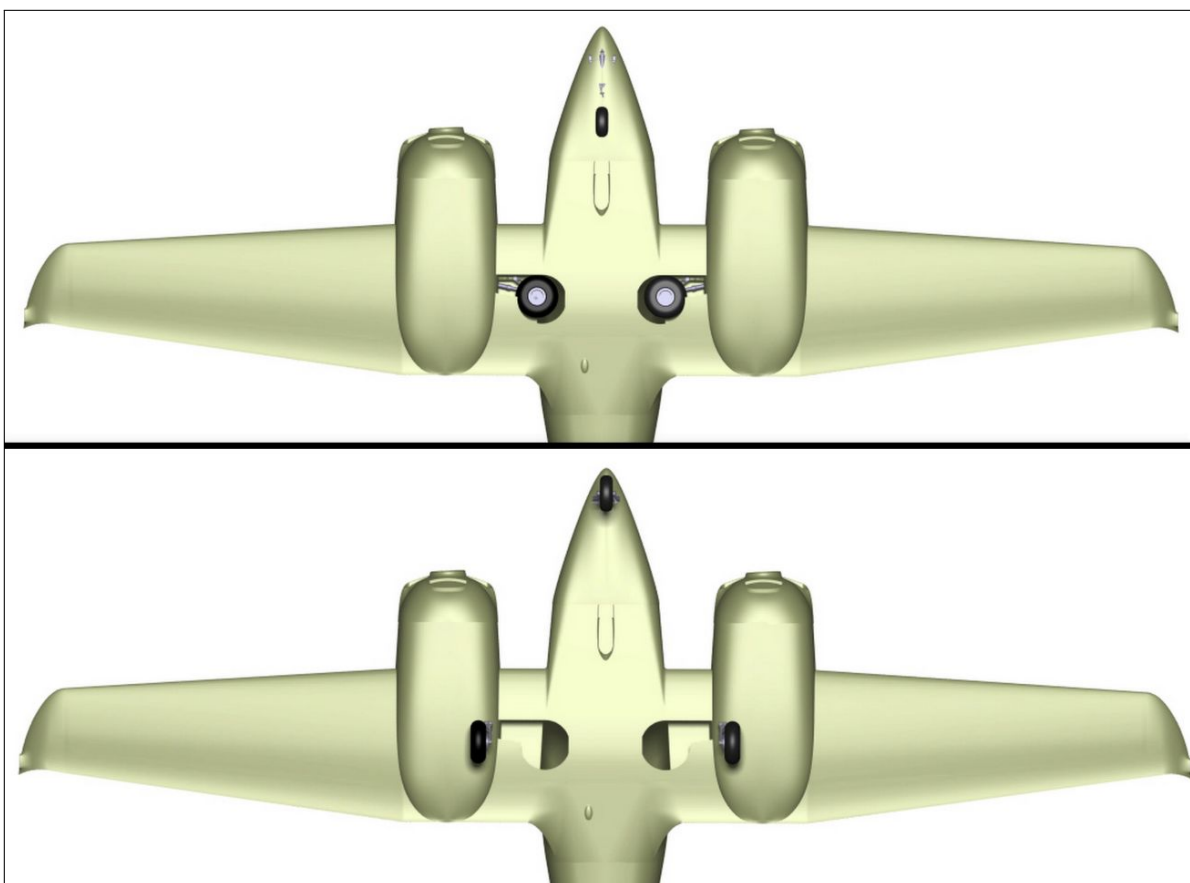
Příloha 2: VUT200 - finální varianta uspořádání PZ



Obrázek 8.23: Boční pohled na VUT200 s vysunutým a zasunutým podvozkem

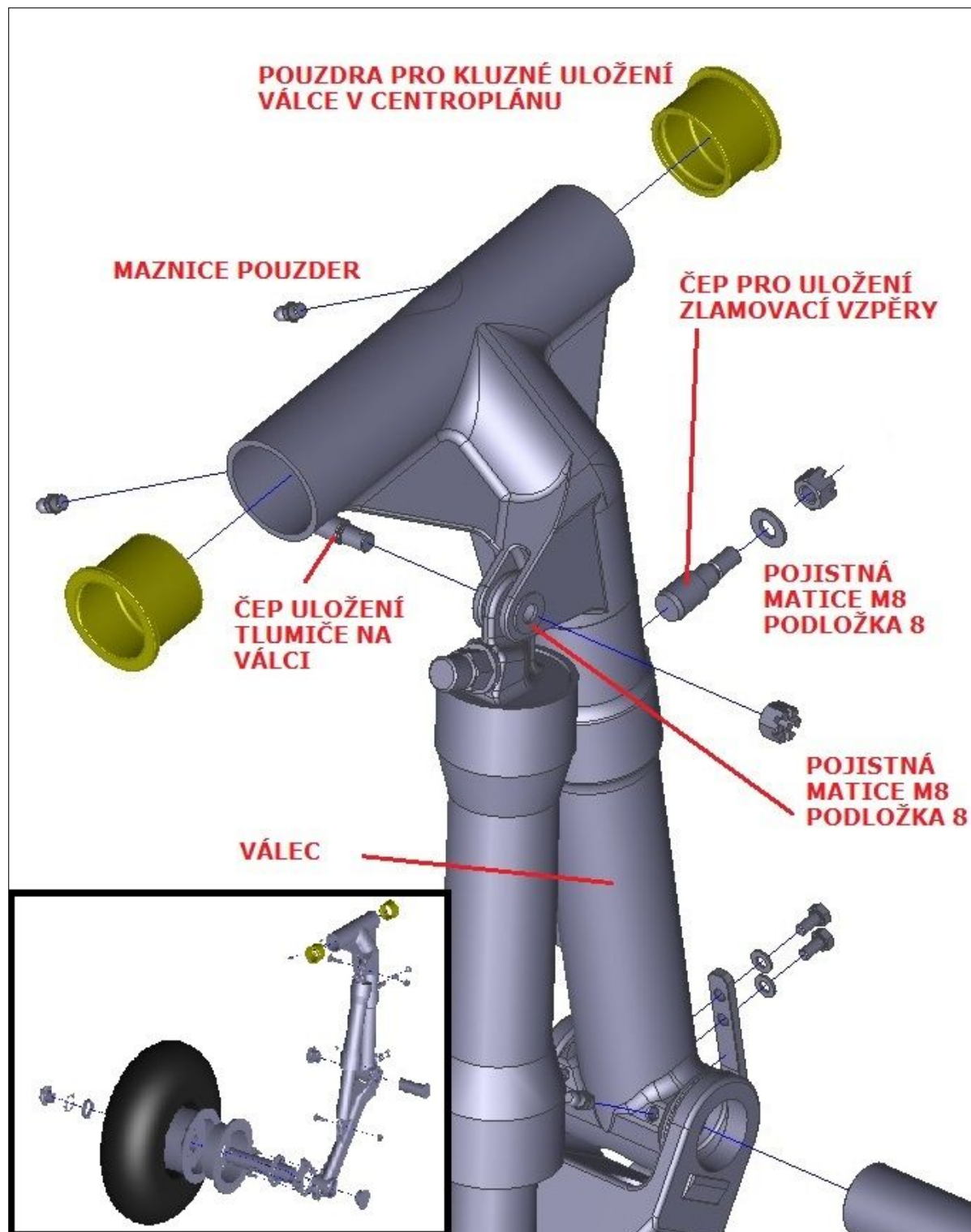


Obrázek 8.24: Přední pohled na VUT200 s vysunutým a zasunutým podvozkem

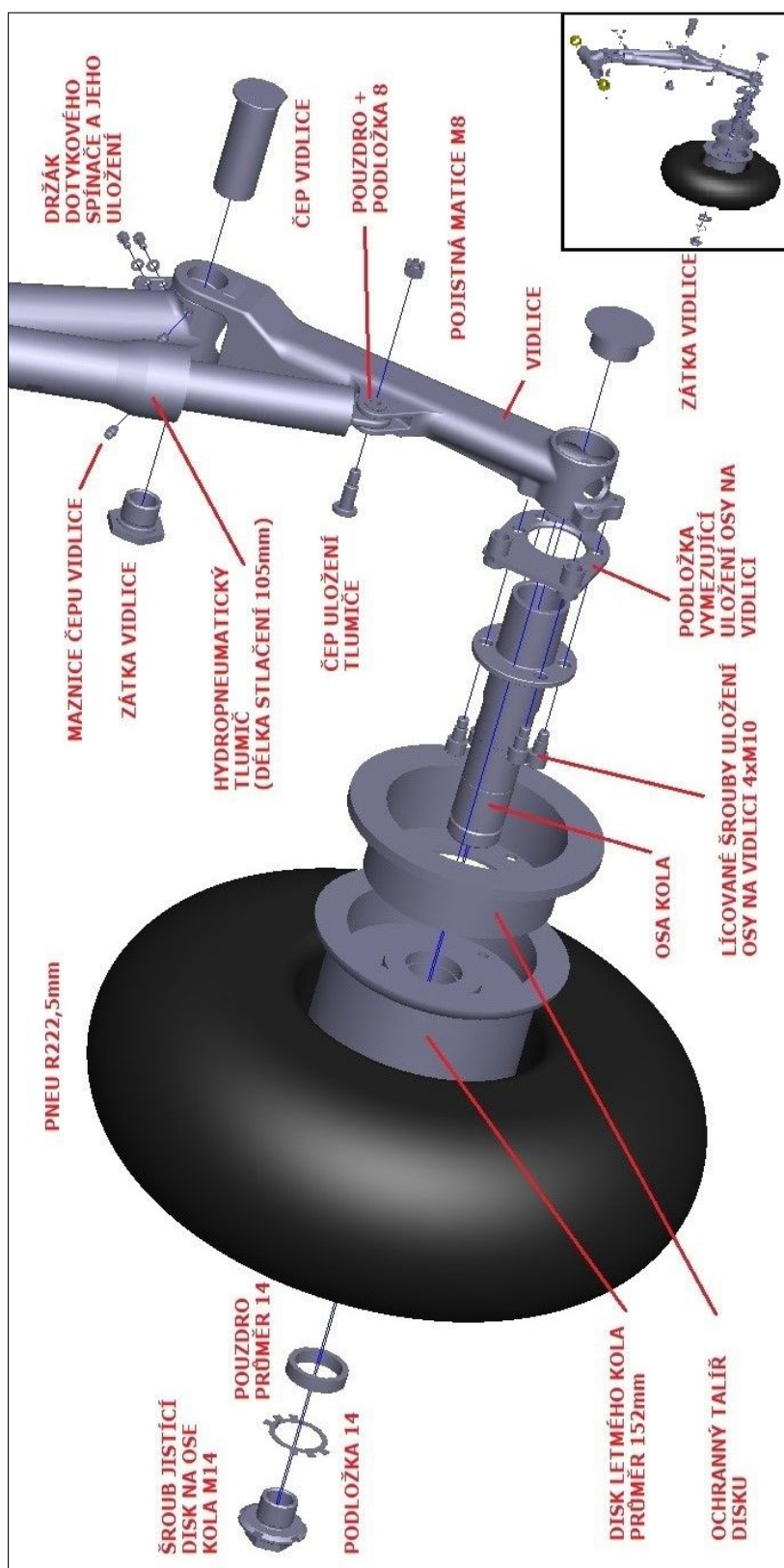


Obrázek 8.25: Spodní pohled na VUT200 s vysunutým a zasunutým podvozkem (otvory v potahu centropłanu a přídová „kaplička“ - z VUT100, která má menší rozchod i rozvor)

Příloha 3: Hlavní podvozková noha

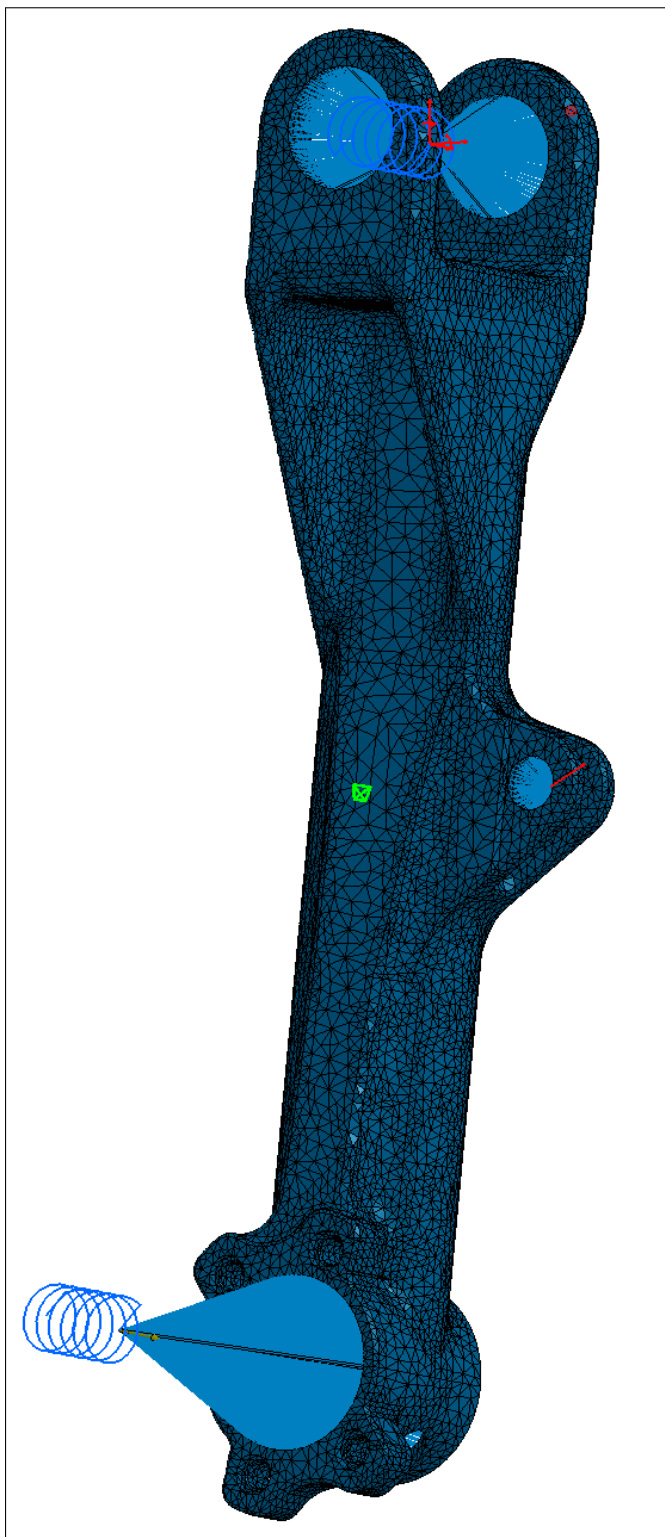


Obrázek 8.26: Hlavní podvozková noha VUT200 II

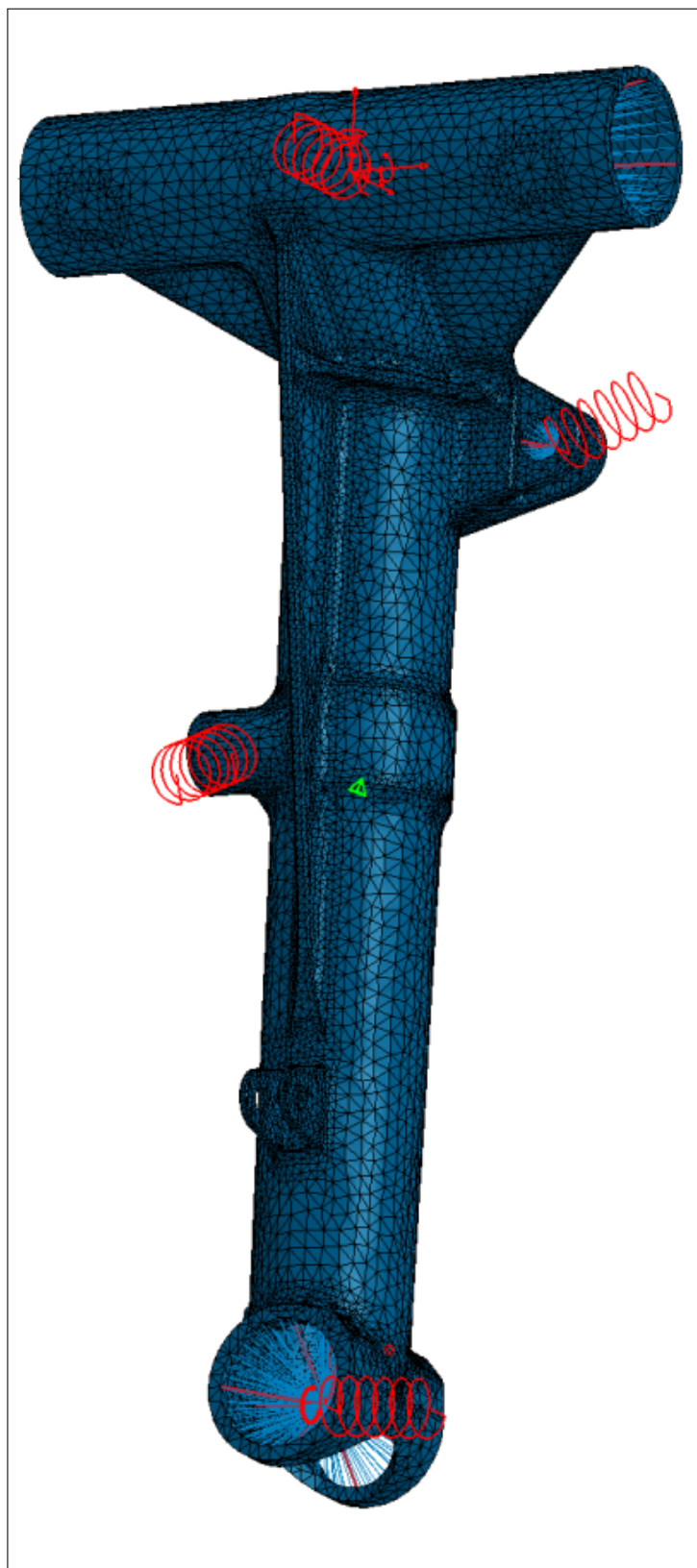


Obrázek 8.27: Hlavní podvozková noha VUT200 I

Příloha 4: MKP modely



Obrázek 8.28: MKP model vidlice



Obrázek 8.29: MKP model válce