

Konstrukce podvozku pro letecké RC modely

Petr Borovička

Bakalářská práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr BOROVIČKA**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Konstrukce podvozku pro letecké RC modely**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na dané téma
2. Navrhněte konstrukční řešení přídového podvozku pro letecké RC modely o hmotnosti do 40kg.
3. Zhodnoťte výhody a nevýhody navrženého řešení.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Sámek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

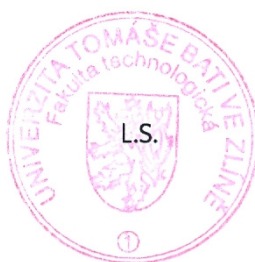
20. února 2009

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2009

Ve Zlíně dne 16. února 2009

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Cílem této práce je navrhnout příďový zatahovací podvozek, pro RC modely do hmotnosti 40kg. Teoretická část je zaměřená na problematiku RC modelů jako takových, dále pak na jednotlivé prvky obsažené v RC modelu, na typy podvozků používaných v RC modelech a v poslední části na pneumatické pohony. Praktická část je zaměřena na samotnou konstrukci dvou variant podvozku, nutné výpočty a volby normalizovaných dílů. Dále je zde navrhován pneumatický válec a pneumatický obvod s nutnými výpočty. Na závěr praktické části jsou porovnávány obě varianty z různých hledisek a čtenáře je seznamován s možnými výhodami a nevýhodami daného řešení.

Klíčová slova: RC model, zatahovací podvozek, pneumatický válec, pneumatický obvod

ABSTRACT

The purpose of this works is RC model nose retract design for models weight 40 kg. Theoretical part is about RC models problems, about individual systems that RC models include, types of RC gears and pneumatic systems. Practical part contains the design of the two variants RC gear retracts, basic calculations and choice of standard parts. The next part includes the pneumatic cylinder and pneumatic circuit design with the basic calculation. The end of practical part focuses on the comparison of both variants and introduce advantage and disadvantage of retract design.

Keywords: RC model, gear retract, pneumatic cylinder, pneumatic circuit

Chtěl bych na tomto místě poděkovat Ing. Davidu Sámkovi, Ph.D., za odborné vedení a cenné rady při vypracovávání bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 25. května 2009

Podpis

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 RC MODELÝ	10
1.1 ROZDĚLENÍ LETECKÝCH MODELŮ DLE MEZINÁRODNÍ ASOCIACE LETECKÝCH SPORTŮ	11
1.2 HISTORIE LETECKÝCH RC MODELŮ	12
1.3 RC ŘÍZENÍ MODELŮ	13
1.4 KONSTRUKCE LETECKÝCH RC MODELŮ	15
1.5 TYPY POHONŮ LETECKÝCH RC MODELŮ	16
1.5.1 Pohon gumovým svazkem – gumový pohon.....	18
1.5.2 Spalovací motory.....	18
1.5.3 Proudové motory a turbovrtulové motory	19
1.5.4 Elektromotory.....	21
1.5.5 Modelářské CO ₂ motory.....	21
2 PODVOZKY LETECKÝCH RC MODELŮ	23
2.1 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI PODVOZKU LETECKÉHO RC MODELU.....	24
2.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ PODVOZKŮ A TYPY PODVOZKŮ	25
2.3 OVLÁDÁNÍ ZATAHOVACÍCH PODVOZKŮ.....	28
2.4 BRZDÍCÍ SYSTÉM U PODVOZKŮ LETECKÝCH RC MODELŮ	34
2.5 TLUMENÍ RÁZŮ (ODPRUŽENÍ) PODVOZKŮ LETECKÝCH RC MODELŮ.....	35
3 PNEUMATICKÉ PRACOVNÍ PRVKY	37
3.1 PNEUMATICKÉ LINEÁRNÍ MOTORY	37
3.1.1 Pneumatické lineární jednočinné motory	38
3.1.2 Pneumatické lineární dvojčinné motory.....	41
3.1.3 Bezpístnicové lineární pneumatické motory – válce.....	43
3.2 PNEUMATICKÉ VENTILY.....	44
II PRAKTICKÁ ČÁST	45
4 VOLBA TYPU PODVOZKU, VSTUPNÍ ÚDAJE, POSTUP KONSTRUKCE	46
VOLBA TYPU PODVOZKU	46
VSTUPNÍ ÚDAJE	46
POSTUP KONSTRUKCE.....	47
5 KONSTRUKCE 1. VARIANTY	49

5.1	ROZVRŽENÍ PODVOZKU – SCHÉMA, NÁVRH KINEMATICKÉHO SCHÉMATU	49
5.2	SAMOTNÁ KONSTRUKCE PODVOZKU	50
5.3	PEVNOSTNÍ KONTROLA NAMÁHANÝCH ČÁSTÍ	53
5.3.1	Výpočty kluzných ložisek	54
5.3.2	Výpočty čepů	57
5.4	VÝPOČET ODPRUŽENÍ	60
5.5	NÁVRH A VÝPOČET PNEUMATICKÉHO VÁLCE A PNEUMATICKÉHO OBVODU	61
5.5.1	Stanovení nejmenšího pracovního tlaku pístu:	61
5.5.2	Návrh pneumatického obvodu:	63
5.5.3	Výpočet přibližného počtu zdvihů n_I pro 3 válce	64
6	KONSTRUKCE 2. VARIANTY	68
6.1	ROZVRŽENÍ PODVOZKU – SCHÉMA, NÁVRH KINEMATICKÉHO SCHÉMATU	68
6.2	SAMOTNÁ KONSTRUKCE PODVOZKU	69
6.3	PEVNOSTNÍ KONTROLA NAMÁHANÝCH ČÁSTÍ	71
6.3.1	Výpočty kluzných ložisek	72
6.3.2	Výpočty čepů	75
6.4	VÝPOČET ODPRUŽENÍ	79
6.5	NÁVRH A VÝPOČET PNEUMATICKÉHO VÁLCE A PNEUMATICKÉHO OBVODU	80
6.5.1	Stanovení nejmenšího pracovního tlaku válce:	80
6.5.2	Návrh pneumatického obvodu:	82
6.5.3	Výpočet přibližného počtu zdvihů n_{II} pro 3 válce	83
7	POROVNÁNÍ A ZHODNOCENÍ NAVRHOVANÝCH ŘEŠENÍ.....	86
8	ZÁVĚR.....	89
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	90
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	92
	SEZNAM OBRÁZKŮ	94
	SEZNAM TABULEK.....	97
	SEZNAM PŘÍLOH.....	98

ÚVOD

V teoretické části je nejprve věnována pozornost stručnému úvodu do problematiky RC modelů, jejich konstrukci a jejich rozdělení. Dále jsou podrobně popsány jednotlivé typy podvozků pro RC modely a jejich konstrukce. Na závěr teoretické části je věnována kapitola pneumatickým prvkům, jejich rozdělení a popis používaných prvků v RC modelech.

Význam přistávacího zařízení – podvozku je u leteckých modelů stejně důležitý jako u „velkých“ letadel. Podvozek zabezpečuje pohyb modelu po zemi, zachycuje síly při dosedu, popř. funguje jako pasivní bezpečnostní prvek při havárii, kdy se model obvykle při pádu z malé výšky za určitých podmínek dotkne země nejdříve podvozkem. Podvozky leteckých modelů musí tedy splňovat různá kritéria, jako jsou malá hmotnost (vztaženo k hmotnosti modelu), pevnost, snadná montáž, údržba, atd.

Podvozky modelů jsou konstruovány pro různé hmotnosti modelů, od kategorie „slow flyer“ se kterou se dá létat v podstatě jenom v uzavřených prostorách s letovými hmotnostmi v řádech gramů, až po kategorii „obřích“ modelů, které mají vzletovou hmotnost mnohdy na hranici 100 kg (momentálně nejtěžší RC model současnosti má vzletovou hmotnost kolem 130 kg). Při takových hmotnostech jsou už nároky na podvozek vysoké a podvozky bývají poměrně složité a drahé. Jsou zde už použity pneumatické nebo hydraulické prvky, např. systém zatahování podvozku, nebo systém brzdění kol podvozku. U takovýchto modelů už bývá kladen důraz i na „modelovost“ podvozku, takže vzhled a popř. pohyblivé uzly podvozku by měli odpovídat své dané „velké“ předloze.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 RC MODELY

RC (radio control – rádiem řízený) model, je každý model, jehož řízení je prováděno za pomoci rádiových vln. Pod pojmem RC model si můžeme představit model letadla, vrtulníku, auta, lodě, vznášedla, tanku, ponorky, či model např. robota, který vykonává určité pohyby nebo úkony. Základní prvkem každého RC modelu je vysílač a přijímač. Vysílač, obvykle v ruce modeláře vysílá směrem k modelu rádiové vlny, které přijímač interpretuje jako nějaký povel, který předává dál nějakému řídicímu (ovládacímu) prvku, obvykle servomotoru.



Obr. 1. Příklad RC vysílače Futaba [7]



Obr. 2. Příklad RC modelu letadla [8]

1.1 Rozdělení leteckých modelů dle Mezinárodní asociace leteckých sportů

Letecké modelářství patří mezi letecké sporty, proto je rámci různých soutěží zavedeno dělení modelů dle mezinárodních regulí FAI (Federation Aéronautique Internationale). Toto rozdělení je používáno hlavně při soutěžích, aby se přesně definovaly podmínky pro uskutečňování závodů v různých modelářských odvětvích. Při konání různých soutěží se vždy uvádí zkratka dané kategorie modelů, které budou soutěžit. Rozhodčí, kteří pak budou soutěž řídit přesně vědí jakými pravidly se mají řídit, neboť každá kategorie je definována předpisem FAI a to včetně např. hmotností modelů, způsobu ovládání, typem pohonu, atd. Toto rozdělení přináší i pohled na to, jak obsáhlá disciplína modelářství je.

Tab. 1. Rozdělení leteckých modelů dle FAI

Rozdělení dle FAI	
Hlavní kategorie	Podkategorie
F1 - volně létající modely	F1A - kluzáky
	F1B - modely s gumovým pohonem
	F1C - motorové modely
	F1D - halové modely
	F1E - kluzáky s automatickým řízením
F2 - upoutané modely	F2A - rychlostní modely
	F2B - akrobatické modely
	F2C - týmové modely
	F2D - modely pro souboj (combat)
F3 - rádiem řízené (RC) modely	F3A - rádiem řízené akrobatické modely
	F3B - rádiem řízené větroně
	F3C - rádiem řízené helikoptéry
	F3D - rádiem řízené modely pro závody kolem pylonů
F4 - létající makety	F4B - upoutané makety
	F4C - rádiem řízené makety
F5 - RC modely s elektrickým pohonem	F5A - akrobatické modely s elektrickým pohonem
	F5B - kluzáky s elektrickým pohonem
	F5C - vrtulníky s elektrickým pohonem
	F5D - modely s elektropohonem pro závod kolem pylonů
F6 - sportovní propagační modely	F6A - umělecká akrobacie letadel
	F6B - akrobacie na hudbu
	F6C - umělecká akrobacie vrtulníků
	F6D - RC házedla
F7 - lehčí než vzduch	F7A - horkovzdušné balóny

Pozn.: Do podkategorií nejsou uvedeny předběžné a prozatímní kategorie

1.2 Historie leteckých RC modelů

Letecké modelářství je téměř tak staré jako letectví samo. Začátky byly v podobě volně létajících neřízených modelů, popř. upoutaných řízených modelů, které leckdy nebyly ani moc podobné své předloze nebo vycházely z vlastní konstrukce modeláře. Modeláři a jejich modely byli tehdy odkázáni, v případě volně létajících modelů, pouze na vliv větru a stoupavých proudů, takže se nejednalo, že model prostě uletěl. Tyto modely mohly být také „řízeny“ ale pouze např. hodinovým strojkem, který po uplynutí zadané doby nastavil řídicí plochy modelu tak, aby přistál na zemi, nebo knotem, který po vyhoření uvolnil pružinu, a ta vykonala potřebný úkon. V 50. letech minulého století se začaly objevovat první rádiově řízené modely, tehdy ještě s jednobáňovým neproporcionálním řízením, které ovládalo 1 ovládací prvek a to pouze do koncových poloh, bez možnosti plynule regulovat výchylky. Někdy mezi lety 1960 a 1970 se s nástupem tranzistorů začaly pomalu objevovat plně proporcionální vícekanálové RC systémy. V té době ovšem ještě nebyly dostupné každému a vysílače i přijímače byly tehdy ještě velké a těžké. Až v roce 1980 se staly díky miniaturizaci a masivní výrobě polovodičových součástek vysílače i přijímače snadno dostupné, byly lehké a malé.

S rozmachem rádiově řízených modelů, se začaly RC modely zvětšovat a začaly se uplatňovat různé technologické prvky, které by modelář do volně letícího modelu nikdy nevmontoval. Díky tomu se v dnešní době můžeme setkat s RC modely poháněnými malými proudovými motory,⁷ které přenáší na zem letové záběry z kamery umístěné na modelu, která se otáčí podle toho, jak modelář otáčí hlavou, při tom má na hlavě nasazeny brýle, které mají místo čoček malé LCD displeje. Modelář si díky tomu připadá, jako by řídil opravdové letadlo. Tyto systémy jsou poměrně drahé, ale modeláři je přesto na své modely umisťují i přes hrozbu havárie modelu a tím i zničení drahé aparatury.



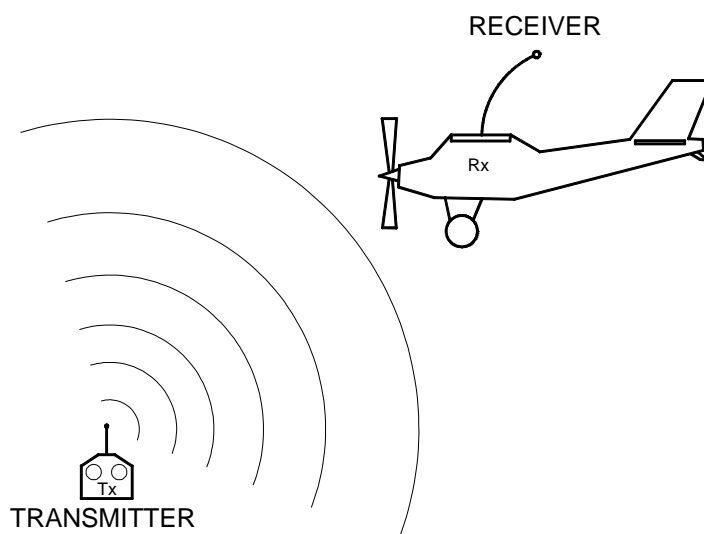
Obr. 3. Kamery používané k přenosu obrazu z modelů [9]



Obr. 4. Vysílače používané pro přenos obrazu z kamer umístěných na modelu [9]

1.3 RC řízení modelů

Zkratka RC pochází z anglického originálu „radio control“ což v překladu znamená rádiově řízené. Každý model je proto řízen nějakou RC soupravou, která se skládá z vysílače (angl. transmitter – Tx) a z přijímače (angl. receiver – Rx). Označení Tx a Rx se používá na různých součástech RC obvodu pro lepší identifikaci kam vlastně daná součást přijde, jestli k vysílači nebo k přijímači. [2]



Obr. 5. Schéma vysílač (transmitter) – přijímač (receiver)

Vysílač pracuje tak, že získává od pilota – modeláře pokyny k řízení modelu snímáním polohy jednotlivých ovladačů, které dále elektronicky zpracovává, zakóduje je do přenosového kanálu a odvysílá v podobě rádiového signálu směrem k přijímači. Při této operaci generuje vysílač nosný rádiový signál o přesné frekvenci, do které se za pomoci modulace následně zakóduje informace určené pro řízení modelu. Přijímač zachytí rádiový signál vyslaný vysílačem, rozkóduje jednotlivé pokyny a předá je dál dalším zařízením v modelu (servomotory, regulátory napětí, atd.) Frekvence signálu je přesně daná (vloženým krystalem nebo napevno výrobcem) a během provozu se nemění s výjimkou systému pracujících na frekvenci 2,4GHz. Vysílač i přijímač musí být nastaveny na stejnou frekvenci. [2]



Obr. 6. Servomotor ovládání modelu [7]

RC systémy pracují v různých módech a na různých frekvencích, které jsou určeny Českým telekomunikačním úřadem a jsou to frekvence 35MHz, 40MHz a 2,4GHz. První dvě jmenované frekvence jsou přímo vyhrazeny modelářům a v poslední době hojně používaná frekvence 2,4GHz je pro všeobecné použití (viz. wi-fi sítě).

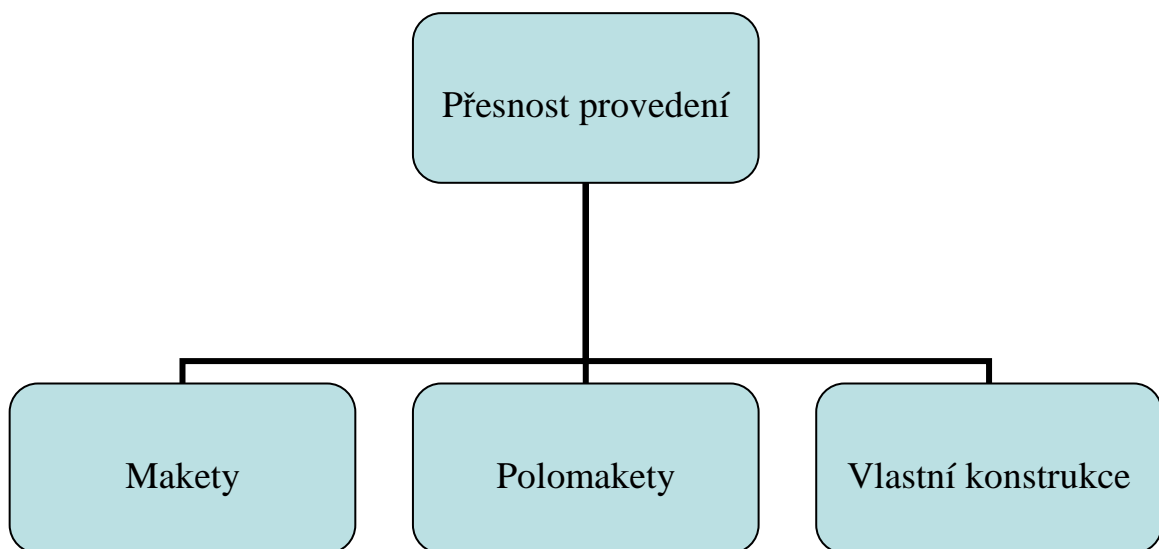
RC systémy pracující na frekvenci 2,4GHz jsou sice nejdražší, poskytují však modeláři největší bezpečnost provozu (přenosu signálu) a pro svoji velkou datovou propustnost dovolují modeláři přenášet např. telemetrické informace nebo obraz zachycený kamerou na modelu.

1.4 Konstrukce leteckých RC modelů

Konstrukce leteckých RC modelů bývá různá, od jednoduchých modelů, které jsou z balzového dřeva nebo pěnového polystyrenu, přes modely, které jsou z velké části z extrudovaného polystyrenu, až po modely „klasické“ konstrukce, kde je vesměs použito více materiálů najednou (balzové dřeva, překližka, polystyren, laminát, kovové nosníky, potahové materiály). Prvně 2 jmenované konstrukce jsou obvyklé pro jednoduché kupované modely, které modelář koupí, složí a po malých úpravách může jít létat.

Přesnost provedení modelů se dá rozdělit dle 3 kategorií:

- makety – reálné tvarové zpracování předlohy modelu včetně všech detailů a povrchové úpravy. Musí být na první pohled jasné, jaká byla předloha modelu.
- polomakety – reálné tvarové zpracování předlohy modelu a povrchové úpravy. Můžou se vyskytnout konstrukční úpravy pro lepší vlastnosti modelu, nemusí být na první pohled jasné, jaká byla předloha modelu, nejsou vyhotoveny všechny detaily
- vlastní konstrukce – modelář zkonstruuje vlastní model, bez použití reálné předlohy



Obr. 7. Dělení modelů dle přesnosti provedení

RC modely se obvykle skládají z určitých konstrukčních uzlů. Uzlem je myšlen např. trup, křídla, podvozek, ocasní plochy, pohon, elektrická instalace, atd. Při konstrukci a stavbě modelu je též nutno uvažovat přepravní podmínky. To se obvykle řeší demontovatelnými křídly. Zde je tedy nutné, aby složení a zprovoznění modelu po transportu bylo rychlé a

jednoduché s pomocí různých čepů, západek, popř. šroubových spojení. V konstrukci by mělo být myšleno i na případnou výměnu vadných, či rozbitých součástí, popř. na možnost seřizování. S tím souvisí vhodné umístění všech ovládacích prvků, popř. montážních a servisních otvorů.

1.5 Typy pohonů leteckých RC modelů

Letecké RC modely, mimo bezmotorové modely, potřebují k letu nějakou pohonnou jednotku – motor. Ten vyvíjí za pomoci vrtule, dmýchadla nebo turbíny (speciální případ) potřebný tah k tomu, aby se dal model do pohybu, nabral určitou rychlost a tím mohl letět, stoupat, provádět různé obraty, atd.

Vyvíjení tahu, je prováděno několika způsoby:

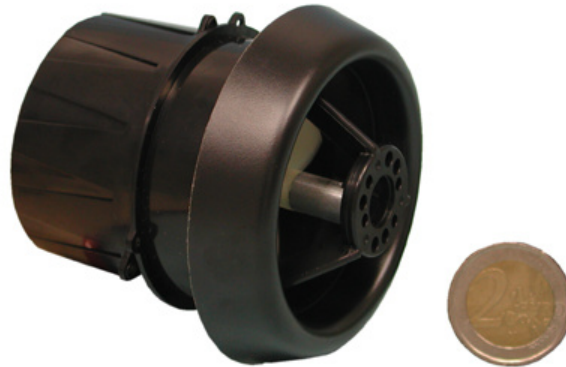
- **vrtulí** – vrtule je v podstatě rotující nosná plocha, která je uváděna do pohybu pohonnou jednotkou. Vrtule převádí energii rotačního pohybu na aerodynamický tah. Vrtule mohou být dřevěné, polymerní, kovové, kompozitové. Dále mohou být dvoulisté, třílisté až např. osmilisté.



Obr. 8. Ukázka třílisté a dvoulisté kompozitové vrtule firmy MEJZLIK [10]

- **dmýchadlem** – dmýchadlo je v podstatě vrtule umístěná ve válci, takže proud vzduchu je soustředěn do úzkého „válce“. Tah je vyvíjen rotujícím dmýchadlem, které uvádí do pohybu pohonná jednotka (obvykle elektromotor). Opět zde dochází k přeměně energie rotačního pohybu na aerodynamický tah. Dmýchadlo nemá vrtulové listy, ale tzv. lopatky přičemž počet lopatek na dmýchadle se odvíjí od výrobce a může být různý. Otáčky u dmýchadel jsou poměrně dosti velké (až $16000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$) z toho plyne i velká rychlost modelu. Dmýchadla se používa-

jí hlavně u modelů stíhacích typů, popř. dopravních letadel kde je u předlohy pro pohon použit proudový pohon. Modely s dmýchadla dosahují velkých rychlostí, někdy u kolem 250km/h. Dmýchadla jsou velmi oblíbené pro jejich jednoduchost na provoz a údržbu.



Obr. 9. Modelářské dmýchadlo firmy Fantex [11]

- **proudovým nebo raketovým motorem** – k vývinu tahu dochází reaktivní silou, kde proud horkých spalin rychle uniká z motoru a tím je motor hnán vpřed

Pohonné jednotky leteckých RC modelů jsou rozmanité a v případě spalovacích motorů, popř. CO₂ motorů i technicky velmi náročné. Modelář se již na začátku stavby modelu (pokud si model nekupuje hotový) musí rozmyslet jaký druh pohonu v modelu vlastně použije a tomu i stavbu přizpůsobit. Ne vždy má modelář dostatek prostředků pro to, aby použil pohon stejného typu jako má modelová předloha, potom musí sáhnout po takovém pohonu, který splní svou funkci na modelu a vzhledově bude podobný předloze modelu. V případech kdy modelář staví model turbovrtulového letadla lze do modelu bez větších obtíží namontovat elektromotory nebo spalovací motory. Ovšem v případě, kdy modelář staví maketu vojenské stíhačky musí dobře uvážit jaký typ pohonu zvolit a jakým způsobem ho do modelu namontovat. V modelu se může nacházet jedna pohonná jednotka, ale i více pohonných jednotek. Vše závisí na předloze modelu nebo na modeláři, který pokud to konstrukce dovolí, může třeba i 2 pohonnými jednotkami pohánět 1 vrtuli, nebo 1 pohonnou jednotkou pohánět 2 protiběžné vrtule. Variant a způsobů je mnoho.

Typy používaných pohonných jednotek v leteckých RC modelech:

1.5.1 Pohon gumovým svazkem – gumový pohon

Pohon modelu (vrtule) je zajišťován namotaným gumovým svazkem. Jedná se o téměř nejstarší typ pohonu pro modely a je stále využíván pro svou jednoduchost a spolehlivost. Regulace tahu u tohoto typu pohonu je možná, ale jen částečně a to počtem otáček zkroucení gumy. Tímto se reguluje i doba chodu gumového pohonu. Používá se především u volně létajících modelů, ale své uplatnění najde i u jednoduchých RC modelů. Jedná se o jeden z nejlevnějších a konstrukčně nejjednodušších způsobů pohonu.



Obr. 10. Příklad jednoduchého volně létajícího modelu na gumový pohon firmy Pelikán [12]

1.5.2 Spalovací motory

Pohon modelu (vrtule, dmýchadla) je zajišťován spalovacím motorem, který spaluje směs paliva se vzduchem. Palivem je obvykle směs ricinového oleje a nitromethanu, ale těchto směsí je hodně a záleží na modeláři, jakou použije. Novější motory běží i na klasický bezolovnatý benzín smíchaný v poměru s olejem. Spalovací motory jsou často využívány pro svůj výkon, ale i pro realističnost letu a to jak ve zvukové kulise, vizuální podobě, tak i doprovodných jevech jako kouř z výfuků, apod. Regulace tahu u těchto typu motorů je poměrně snadná a to přes karburátor, který je pro provoz těchto motorů nutný.

Dělení:

- jednoválcové, víceválcové
- řadové, hvězdicové
- dvoutaktní, čtyřtaktní
- vzduchem chlazené, vodou chlazené
- se žhavicí svíčkou, s jiskřivou svíčkou



Obr. 11. Modelářský spalovací dvouválcový motor české firmy MVVS [13]

1.5.3 Proudové motory a turbovrtulové motory

Modelářské proudové motory dosáhly v poslední době, i přes svou značnou cenu velkého rozmachu. S těmito motory působí modely velmi realisticky, díky klasického zvuku proudového motoru, díky charakteristickému zápachu paliva a v neposlední řadě i díky „tetelícímu“ se vzduchu za výstupní tryskou motoru.

V modelářské praxi se používají výhradně motory s radiálním kompresorem, neboť jsou konstrukčně jednodušší, ale bylo postaveno i několik motorů s axiálním kompresorem. Někteří modeláři si tyto motory vyrábějí sami, ale většina modelářů tyto motory kupuje od

renomovaných firem, které k motorům dodávají i nutné příslušenství jako např. palivové čerpadla, které musí dávkovat palivo velmi přesně, hlavně při startu motoru, neboť při nesprávném dávkování může dojít k poškození motoru. Regulace tahu motoru je při použití kvalitního palivového čerpadla poměrně snadná.

Speciální kategorií modelářských motorů jsou turbovrtulové motory, které se začaly objevovat až v posledních letech. Jde v podstatě o proudový motor, který na své hřídeli má obvykle přes reduktor připojenou vrtuli. K vývinu tahu zde nedochází za pomoci tryskajících plynů, ale za pomoci tahu od točící-se vrtule. Tyto motory nejsou pro svou náročnost na provoz a velmi vysokou cenu zatím moc používány, ale pomalu se mezi modeláři také rozšiřují.



Obr. 12. Modelářský proudový motor P-70 firmy JetCat [14]



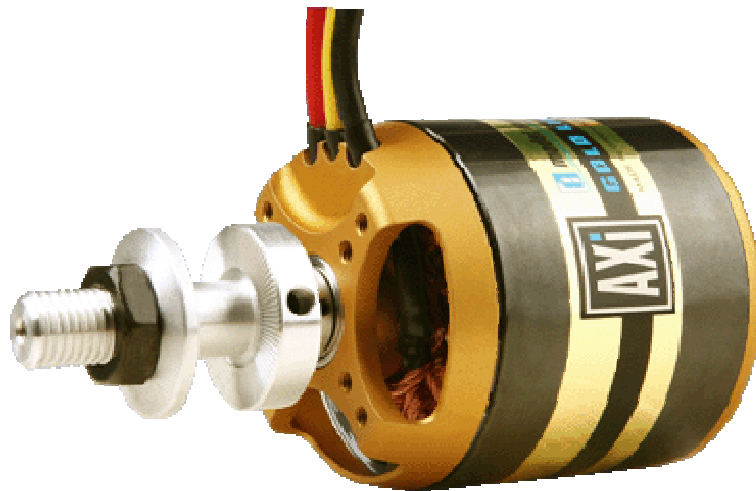
Obr. 13. Příklad modelářského turbovrtulového motoru firmy JetCat [14]

1.5.4 Elektromotory

Modelářské elektromotory se v poslední době těší velké oblibě a to pro velmi snadný provoz, údržbu i cenu. Odpadá manipulace s palivem, modely „nečoudí“ a zástavba motorů do modelu je vskutku jednoduchá. Regulace tahu těchto motorů je velmi snadná přes elektronické regulátory. S rozmachem levných akumulátorů a kvalitních a výkonných motorů se začaly masivně montovat do modelů a vznikla tím další kategorie modelů. Obrovská výhoda modelářských elektromotorů je i ta skutečnost, že se dají montovat i do velmi malých modelů, neboť komplet motoru s baterií může být poměrně malý i lehký.

Dělení:

- střídavé, stejnosměrné
- komutátorové, bezkomutátorové
- napřímo, s převodovkou (reduktorem)



Obr. 14. Bezkomutátorový střídavý elektromotor české firmy AXI [15]

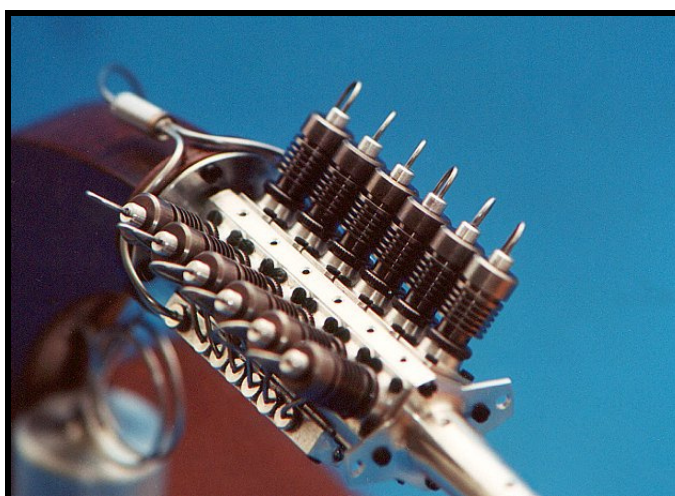
1.5.5 Modelářské CO₂ motory

Opravdu zvláštní kategorií modelářských motorů jsou motory poháněné stlačeným CO₂ plynem. Tyto motory jsou opět velmi snadné na údržbu i provoz. Jedná se také o jedny z nejstarších používaných modelářských motorů, jejichž počátky jsou někdy kolem roku 1905. V modelu se nachází nádrž, která se za pomoci ventilu a „sifonových“ bombiček

naplní stlačeným CO₂. Motor, obvykle jednoválcový, dvouválcový, ale i třeba dvanáctiválcový V motor, je pak poháněn působením tlaku plynu na válec. Regulace tahu je u těchto možná na zemi, ale i během letu za pomoci speciálního ventilu. Tyto motory jsou používány hlavně u rekreačních RC modelů a volně létajících modelů.



Obr. 15. Modelářský CO₂ motor firmy Gašparín – čtyřválcový [16]



Obr. 16. Modelářský CO₂ motor firmy Gašparín – dvanáctiválcový V [16]

2 PODVOZKY LETECKÝCH RC MODELŮ

Přistávací zařízení, neboli podvozek je hlavně u větších modelů jednou z nejdůležitějších částí modelu. Slouží k pohybu modelu po zemi během poježdění, startu a přistání. Musí opakovaně snést větší zatížení, které vzniká hlavně při přistání a může se, v případě tvrdšího přistání vyšplhat až na 2-3 násobek hmotnosti modelu. V nejhorším případě musí zachytit velmi tvrdý dosed při pádu letadla z poněkud větší výšky (myšleno havárii). U malých a lehkých modelů jsou většinou podvozky řešeny jednoduše jako kus ohnutého drátu s kolečkem. U větších a těžších modelů si už podvozek vyžaduje složitější konstrukci, které snese dané zatížení, které u modelů vázících např. 12kg není nikterak vysoké, ale u modelů vázících kolem 40kg je už celkem značné a musí zde být dbáno třeba i na dobré odpružení, popř. na otáčení do směru v případě příďového podvozku. Speciální kategorií podvozků leteckých RC modelů jsou pak plováky, ale ty fungují na jednoduchém principu Archimédova zákona a nemá cenu se o nich více rozepisovat. Podvozek jako celek se skládá z tzv. podvozkových noh, které se rozdělují na:

- hlavní podvozkové nohy (hlavní podvozek), což jsou ty podvozkové nohy, které nesou největší část hmotnosti modelu a obvykle bývají v páru. Při přistání pak model většinou dosedá nejdříve právě na tyto nohy. Jejich poloha v modelu je obvykle někde v blízkosti těžiště
- příďová noha (příďový podvozek), který je na modelu v případě použití příďového typu podvozku
- ostruhová noha (ostruhové kolečko, příp. samotná ostruha), která se používá u modelů s ostruhovým typem podvozku

2.1 Požadavky na konstrukci podvozku leteckého RC modelu

Každý podvozek leteckého RC modelu musí splňovat určité požadavky pro co nejlepší funkci podvozku v modelu. Většina prodávaných podvozků tyto požadavky splňuje, přesto se někteří modeláři uchylují k vlastní konstrukci, neboť prodávané podvozky nemusí odpovídat jejich představám. Jedná se hlavně o případy, kdy modelář vyrábí model v nějakém nezvyklém měřítku nebo vyrábí model letadla, který má např. zvláštní řešení podvozkového systému. Důvod ovšem může být i mnohem prostší a to když si chce modelář prostě vše, co jde vyrobit sám.

Základní požadavky na podvozek leteckého RC modelu:

- malá hmotnost – konstrukčně musí být podvozek řešen tak, aby byl co nejlehčí a přitom pevnostně odolný
- tlumící schopnosti – podvozek by měl mít tlumící schopnosti (odpružení) neboť 90% startů a přistání je prováděno z trávy, popř. z jiného nerovného povrchu. Model je díky tomu chráněn před rázy, které mohou poškodit citlivá místa v konstrukci modelu a lépe se drží na vzletové a přistávací ploše během startu a přistání.
- levný – modelářství je drahý koníček, přesto by cena samotného podvozku neměla přesáhnout cenu „celého modelu“. Jinými slovy, měla by se udržet v rozumných mezích.
- snadno aplikovatelný – montáž podvozku do modelu by měla být snadná a řešena tak, aby modelář nemusel dělat velké zásahy do konstrukce modelu. Toho platí u sériově prodávaných podvozků. Když si modelář podvozek vyrábí sám, obvykle už se zástavbou počítá a konstrukci podvozku tomu přizpůsobí.
- snadno ovladatelný – v případě kdy je podvozek zatahovatelný nebo zatáčecí, je nutné, aby připojení ovládacích prvků (servomotorů, pneumatické, popř. hydraulické válce) bylo snadné a v rámci možností jednoduché.

2.2 Základní rozdělení podvozků a typy podvozků

Podvozky se dají rozdělit do mnoha skupin podle mnoha kategorií. Jako hlavní rozdělení se dá považovat to, jestli je podvozek kolový nebo lyžinový. Lyžinový se používá hlavně u vrtulníků, popř. u modelů, které se mají provozovat ze sněhu. Nejčastěji používaný podvozek u RC letadel je však kolový, tedy podvozek s otáčejícími se koly.

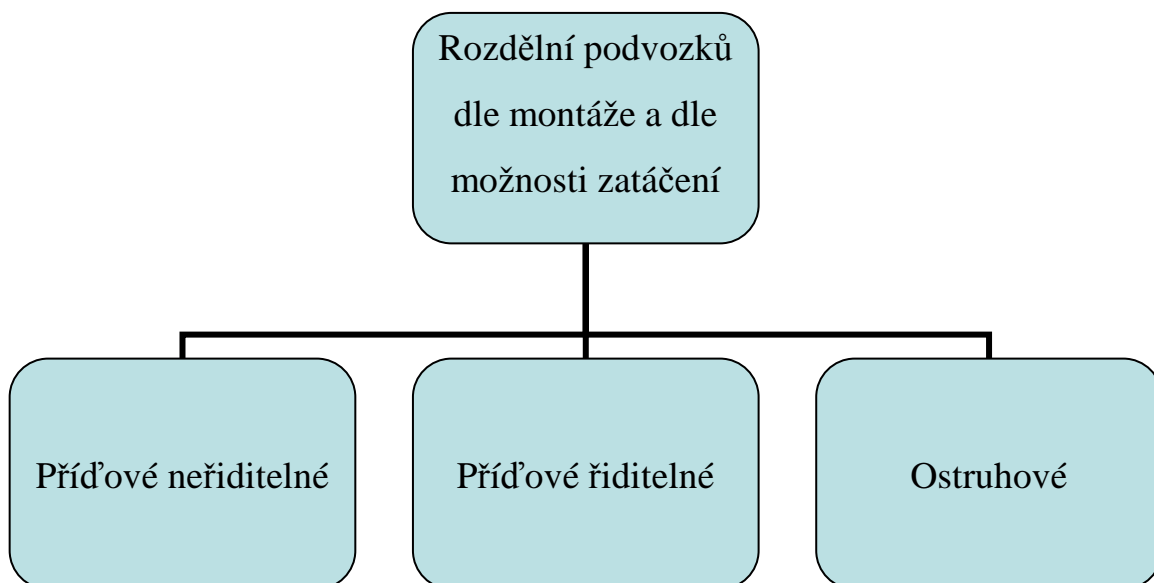
Další rozdělení je možné podle toho, jestli nějak podvozek mění svou polohu na zemi a během letu, jinými slovy jestli se podvozek „zatahuje“, proto dělíme podvozky na:

- **pevné** – podvozek zůstává po celou dobu ve stejné poloze vůči modelu
- **zatahovatelné** – podvozek mění svou polohu vůči modelu během letu a na zemi



Obr. 17. Akrobatický model s pevným podvozkem [12]

Podvozky leteckých RC modelů se dále dají rozdělit podle toho, jakým způsobem jsou na modelu namontovány, na základě toho podvozky dělíme na typy příďové a ostruhové. Další rozdělení je možné podle toho, zdali je možné podvozek řídit do směru, proto se dále dělí na říditelné a neříditelné. To se týká pouze podvozku příďového typu, neboť ostruhové podvozky se dají vždy řídit.



Obr. 18. Rozdělení podvozku dle montáže a dle možnosti zatáčení

Podvozky příd'ového typu neřiditelné

Příd'ové kolo podvozku není řiditelné, a proto je zde obtížnější zatáčení modelu do směru. Tento typ se používá hlavně u malých modelů nejlehčí kategorie, neboť se zde u modelu „počítá“ každý gram navíc a instalace dalšího servomotoru by znamenala navýšení hmotnosti, sice jen o několik gramů, ale u modelů s hmotností kolem 150 – 250 gramů to je celkem velké procento. Modelář před vzletem nastaví model do požadovaného směru na zemi a ten pak vzlétne daným směrem. Než ovšem začnou působit větší síly na směrové kormidlo modelu není možné s modelem nějak na zemi změnit směr. Naštěstí, malé modely vzlétají po ujetí malé vzdálenosti po zemi, takže se tato skutečnost v praxi moc neřeší.

Podvozky příd'ového typu řiditelné

U větších modelů s příd'ovým podvozkem je řízení do směru prakticky nutností. Zatáčení do směru je u modelu pohybujícího se po zemi velmi důležité jak při vzletu a přistání, tak při pojíždění modelu. Řízení otáčení prováděno téměř výhradně servomotorem, může být buď na samostatném kanálu, nebo může být spřaženo s ovládáním směrového kormidla. U typu, kdy je zatáčení spřaženo se směrovým kormidlem je dobré pojistit, aby při zatažení bylo kolo v neutrální poloze, neboť by se nemusel vlézt do dutiny podvozku, popř. by při zatahování mohlo poškodit část modelu. Toto pojištění je obvykle řešeno elektronicky, kdy při impulsu, který začne zatahovat podvozek, je servomotor zatáčení přesunut do neutrální polohy.



Obr. 19. RC model letounu Let L-410 se zatahovatelným podvozkem předového typu [17]

Ostruhové podvozky

Zvláštní, avšak velmi často používaná varianta podvozků. Zde je obvykle ostruhové kolečko ovládané spolu se směrovkou, nebo je pouze samovolně natáčecí a samotné zatáčení je prováděno silami, které vznikají, když se vzduch z vrtule (popř. proudící vzduch kolem modelu) opře do směrového kormidla. Další způsobem zatáčení je tzv. diferenciální brzdění, kdy je každé kolo hlavního podvozku brzděno samostatně (diferenciálně) a tím dochází k zatáčení celého modelu.



Obr. 20. RC model s podvozkem ostruhového typu [12]

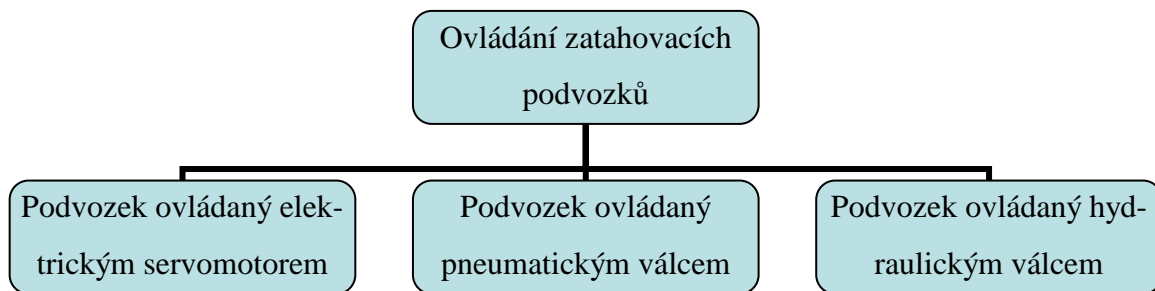
Volba typu podvozku pevný/zatahovatelný se volí vzhledem k:

- aerodynamice – zatažený podvozek má menší odpor vzduchu díky tomu, že nijak nevyčuhuje z profilu letadla. Tím pádem má model lepší letové vlastnosti.
- vzhledu a reálnosti – polomakety, ale hlavně makety letadel se dělají tak, aby vypadaly jako skutečně letouny zmenšené v měřítku, včetně všech detailů, zde je prakticky nutnost umístit na model takový typ podvozku, jaký má skutečná předloha
- povaze modelu – akrobatické speciály musí být lehké a obratné. Zde je výhodnější použít pevný podvozek, který splní svou funkci bez zbytečného přetěžování modelu. Naopak maketa vojenského transportního letadla, si přímo říká o použití zatahovacího podvozku (pokud ho má předloha), neboť zde se jedná hlavně o celkový dojem z letu modelu a ne o prováděné manévry.
- složitosti a nákladnosti modelu – modelář má na svůj model určitý rozpočet a složité zatahovací podvozky nebývají obvykle nejlevnější. V případě použití pneumatického systému zatahování/vytahování podvozku se už nejedná pouze o koupi nebo výrobu podvozku samotného, ale i o nákup pneumatických systémů nutných pro provoz podvozku.

Při konstrukci modelu se musí modelář rozhodnout už na začátku stavby, jakým typem podvozku svůj model vybaví a přizpůsobit tomu i celkovou konstrukci.

2.3 Ovládání zatahovacích podvozků

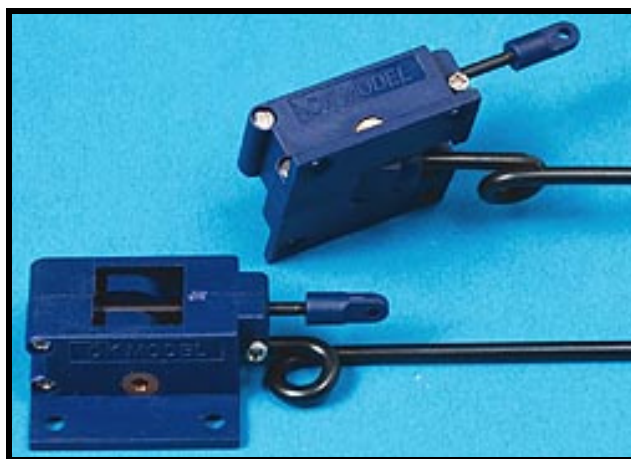
V případě zatahovacích podvozků, je důležitým prvkem v jejich konstrukci, jakým způsobem se budou ovládat. Tím je myšleno, jakým způsobem dojde k jejich zatažení a vytažení. To zajišťuje pohon, který je obvykle servomotor, pneumatický válec nebo hydraulický válec. Pohon musí zabezpečit rychlé a bezpečné zasunutí nebo vysunutí podvozku a měl by zajistit i zajištění podvozku v koncových polohách tak, aby nedošlo k samovolnému vysunutí během letu, nebo k samovolnému zasunutí během pohybu modelu po zemi, což by mohlo model značně poškodit.



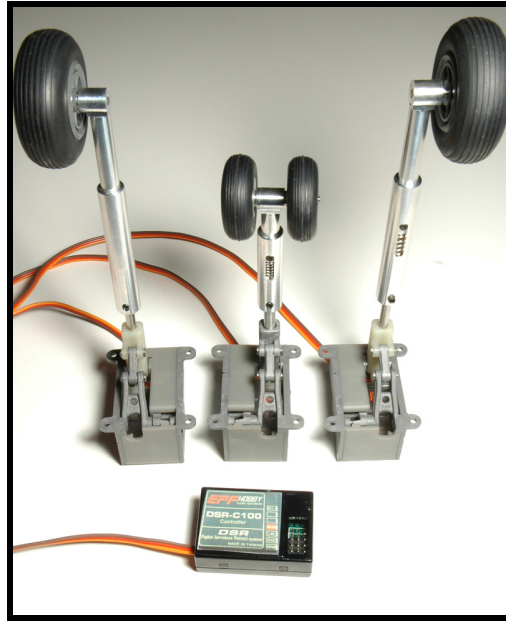
Obr. 21. Schéma typů ovládní zatahovacích podvozků

Podvozek ovládný elektrickým servomotorem

Nejjednodušší způsob ovládní zatahování a vytahování podvozku je za pomoci servomotoru nebo klasického elektromotoru. Tento způsob je široce použitelný a prodávané sety podvozků jsou obvykle připraveny na ovládní servomotory. I modeláři vyráběné podvozky ovládné servomotory jsou obvykle velmi jednoduché. Ovládní je prováděno buď přes ovládací tyč (hřídel) nebo v případě použití klasického elektromotoru přes šnekovou hřídel nebo závitovou tyč. Ovládní servomotory má však i stinné stránky, a to především v situaci kdy dojde ke ztrátě signálu a z vysílače nebo poruše na elektrickém rozvodu letadla, kdy se podvozek ovládný servomotory nemůže otevřít. To může způsobit značné problémy při přistání, ať už řízeném nebo neřízeném. Podvozky ovládné servomotory se objevují hlavně u modelů lehčí kategorie, ale můžeme se s nimi setkat i u velkých modelů, kde se ale spíše používají pneumatické válce.



Obr. 22. Zatahovací podvozky pro malé modely ovládné servomotorem přes táhlo [18]



Obr. 23. Zatahovací podvozky pro malé a střední modely ovládané elektromotorem zabudovaným přímo v tělese podvozku. [19]

Podvozek ovládaný pneumatickým válcem

V poslední době hojně rozšířená je zatahování a vytahování podvozku za pomoci pneumatických válců. Tento systém má několik výhod, mezi něž patří menší energetická náročnost, neboť pohyb samotného válce je ovládán pneumatickým rozvaděčem, který je ovládán krátkým pohybem ovládacího servomotoru. Lze použít i speciální elektromagnetické ventily, které už žádné další servomotor nepotřebují a připojují se přímo na přijímač. Mezi používanější metodu se řadí prvně jmenovaná a to pro svou jednoduchost a snadnou dostupnost komponentů, neboť elektromagnetické rozvaděče nejsou zatím moc rozšířeny.

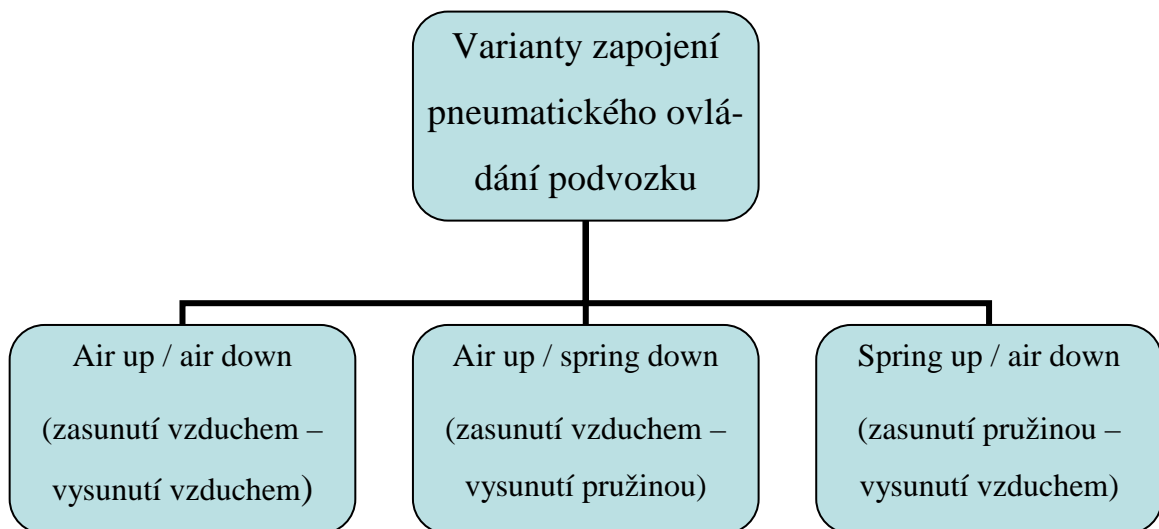


Obr. 24. Modelářské elektromagnetické pneumatické ventily firmy Orbit [20]



Obr. 25. Modelářský pneumatický mechanicky ovládaný 5/2 ventil firmy Robart [21]

Při použití pneumatického systému na ovládání podvozku lze použít několik variant montáže:



Obr. 26. Varianty zapojení pneumatického ovládání podvozku

- **air up / air down (zasunutí vzduchem – vysunutí vzduchem)** – metoda, při které je podvozek vysouván i zasouván tlakem vzduchu. Bohužel má řadu nevýhod. Např. při poruše pneumatického rozvodu nebo úniku tlakového vzduchu zůstane podvozek v té poloze, ve které se nacházel při poruše, což v případě zasunuté podvozku znamená, nemožnost podvozek otevřít. Mezi výhody patří skutečnost, že podvozek je vždy v koncové poloze pevně zajištěn tlakem vzduchu. Tato varianta je používaná hlavně u velkých modelů (maket a polomaket), kde jsou i podvozky

poměrně velké a těžké (v závislosti na modelu). Díky tomu by za použití nejoblíbenějšího systému air up / spring down (vzduch – pružina) nemuselo pouze silou pružiny dojít k úplnému otevření podvozku, ale hlavně by nemuselo dojít k zajištění v otevřené poloze. V tomto zapojení se používají dvojčinné válce, kde jako pojistný prvek může sloužit použití speciálního válce, který bude dvojčinný, ale v otvírání bude pomáhat pružina. Ta by v případě úniku vzduchu mohla podvozek otevřít, ale i částečně zajistit.

- **air up / spring down (zasunutí vzduchem – vysunutí pružinou)** – dle většiny modelářů používajících pneumatické podvozky se jedná o nejvhodnější variantu ovládání podvozku. Podvozek vysouvá tlak stlačené tlačné pružiny, která se nachází přímo ve válci. Zasunutí zase obstará tlak vzduchu, přiváděného v tomto případě do jednočinného válce. Mezi obrovské výhody patří ta skutečnost, že pokud dojde k poruše na pneumatickém systému, popř. k úniku stlačeného vzduchu mimo pneumatický rozvod, podvozek se sám vysune. V uzavřené poloze, polohu podvozku zajišťuje tlak vzduchu působící na válec, v otevřené poloze tlak pružiny + další pojistný prvek (obvykle nějaká západka nebo zámek). Tato varianta přináší i hmotnostní úspory, neboť je zde použito méně rozvodných hadic, méně spojovacích prvků a pro ovládání podvozku postačí pouze jednoduchý ventil s polohou otevřeno/zavřeno.
- **spring up / air down (zasunutí pružinou – vysunutí vzduchem)** – varianta kde je podvozek vysouván tlakem vzduchu na válec a zasouván pružinou. Tato varianta je nepoužívaná vzhledem k negativním vlastnostem, které vyplývají z předchozích 2 variant.

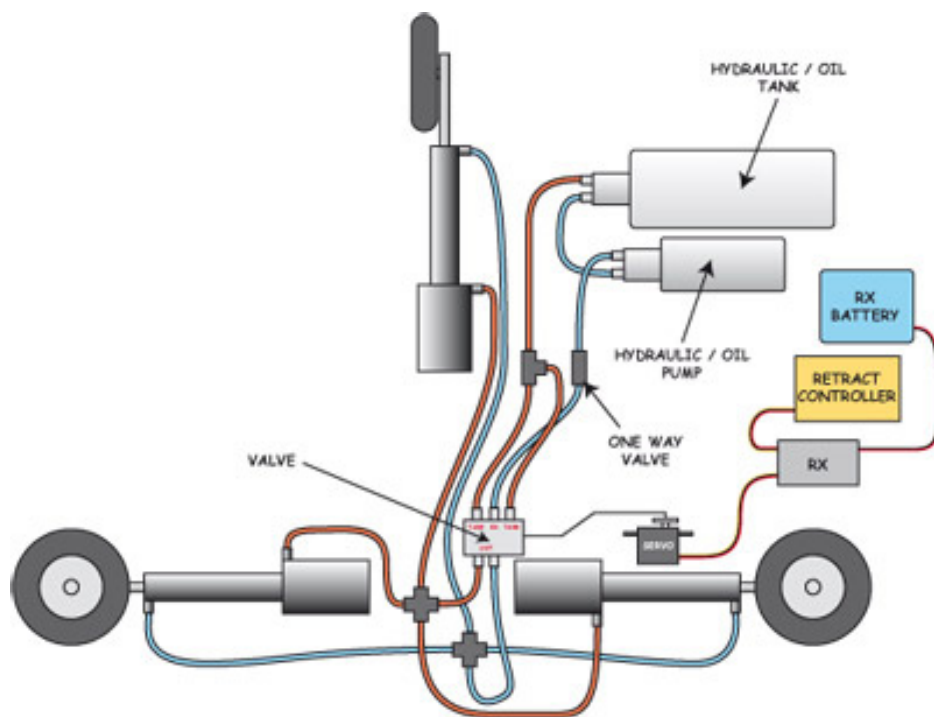
Mezi další nespornou výhodou pneumatického systému podvozku patří i to, že když už modelář instaluje do modelu veškeré pneumatické vybavení, může pneumaticky ovládat i jiné prvky na modelu, např. brzdy kol podvozku, brzdící štíty, vztlakové klapky, zavírací kryty podvozku nebo jiné prvky.

Při instalaci pneumatických prvků do modelu je nutno počítat s hmotností navíc, které je způsobena právě různými hadičkami, ventily, ale také nádrží na stlačený vzduch. Velikost (objem) nádrží spolu s plnicím tlakem je pak rozhodující pro násobnost použití všech prvků ovládaných pneumaticky. Obvykle se počítá na starty a přistání, např. model je schopen

na jedno naplnění nádrže provést např. 10 startů a přistání. Start a přistání je myšlen sled operací, které při které je využíván vzduch z pneumatické nádrže. Příklad pro systém vzduch – vzduch + ovládání brzd kol hlavního podvozku + ovládání brzdících štítků: zasunutí podvozku – vysunutí podvozku – vysunutí brzdícího štítku – brzdění hlavních kol 5s – zasunutí brzdícího štítku. Maximální tlak stlačeného vzduchu používaný v pneumatických systémech modelů se pohybuje okolo 1MPa, proto musí být vedení konstruované tak, aby tento tlak vydrželo a aby bylo v rozvodu co nejméně úniků.

Podvozek ovládaný hydraulicky

Podvozky ovládané hydraulicky se u modelů používají zřídka, pro řadu nevýhod. Přesto je někteří modeláři ve svých modelech používají, ale spíše pro ovládání brzd podvozků. Mezi značné nevýhody patří ta skutečnost, že při jakékoliv netěsnosti, může pracovní kapalina (obvykle olej) vytéct do modelu a způsobit značné škody. Hydraulicky obvod tedy musí být navržen a proveden s velkou pečlivostí. Další nevýhoda spočívá v hmotnosti oleje jako pracovní látky, které je několikanásobně vyšší než hmotnost vzduchu. Na druhou stranu, mezi výhody patří ten fakt, že není nutno pracovní kapalinu doplňovat a v hydraulickém ovládání je dosaženo vyšších pracovních tlaků s menším množstvím kapaliny. Jako vyvíječ pracovního tlaku zde musí být použito nějaké hydraulické čerpadlo, obvykle elektrické.

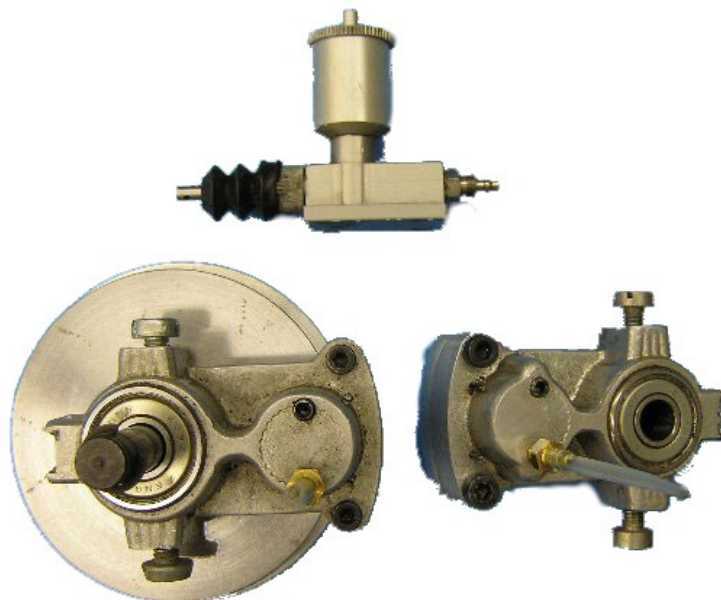


Obr. 27. Příklad zapojení podvozku ovládaného hydraulickými válci [22]

2.4 Brzdící systém u podvozků leteckých RC modelů

U modelů, které mají větší hmotnost, nebo velkou přistávací rychlost je obvykle nutné použít u podvozku brzdový systém. Ten slouží k tomu, aby model nepřešel při přistání vymezenou plochu k přistání (popř. betonovou či asfaltovou dráhu), neboť by mimo ni mohlo dojít k poškození modelu. Další výhodou spočívá v lepší ovladatelnosti modelu při pojíždění nebo při startu např. proudového modelu může zabrzděný model nejdříve dosáhnout plného hnacího výkonu a teprve pak zahájit start (zkrácení délky dráhy potřebné pro vzlet) V případě ostruhového typu podvozku slouží brzdy i k zatáčení modelu při použití diferenciálních brzd.

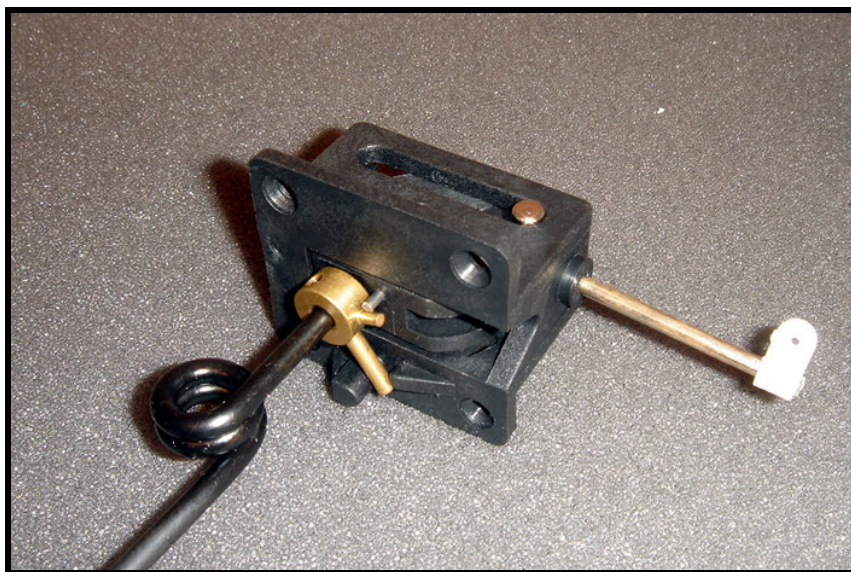
Brzdy u modelu bývají obvykle kotoučové nebo bubnové ovládané hydraulicky, pneumaticky nebo mechanicky přes servomotor. Nejúčinnější jsou brzdy kotoučové ovládané hydraulicky, to si ovšem vyžaduje použití jednoduchého hydraulického obvodu. Modelář má ale zaručený brzdový účinek. Další hojně používanou variantou jsou bubnové brzdy ovládané pneumaticky. Tento systém je používán pro svou jednoduchost, a pokud má model již pneumaticky ovládaný např. podvozek, přidat k tomu ještě brzdy obvykle není žádný problém.



Obr. 28. Kotoučové hydraulické brzdy používané v RC modelech závodních aut se velmi často používají i v leteckých RC modelech [17]

2.5 Tlumení rázů (odpružení) podvozků leteckých RC modelů

Letecké modely obvykle startují a přistávají z nerovných povrchů. Nejčastěji z trávy nebo ze země, méně pak z betonových nebo asfaltových ploch. Díky tomu dochází při pohybu k různým rázům, které jsou způsobeny právě těmito nerovnostmi. U lehkých modelů, které jsou vybaveny jednoduchým podvozkem tvořeného drátem se tlumení řeší ohnutím drátu neboli vytvořením zkrutné pružiny přímo na noze podvozku nebo rázy tlumí samotný drát, který funguje částečně jako pružina. Je to řešení jednoduché, ale pro malé modely dostačující.



Obr. 29. Systém tlumení rázů u podvozku z ohnutého drátu [23]

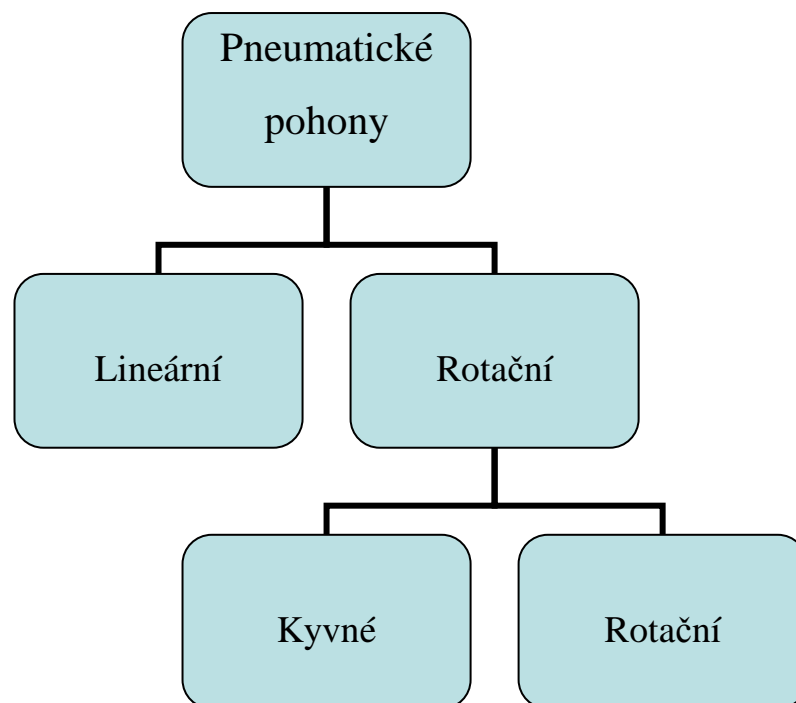
U těžších modelů se tlumení rázů řeší přímo konstrukcí podvozku (akrobatické modely ostruhového typu) nebo v případě, kdy je model vybaven podvozkem příďového typu, se tlumení řeší kovovými pružinami, polymerními pružinami nebo vzduchovým odpružením. Konstrukce jsou různé a obvykle záleží na modeláři, jakou zvolí. Hojně používané jsou v případě příďových noh používané tlačné pružiny, které jsou umístěny v dutém válci podvozkové nohy. U hlavních podvozkových noh bývá použit stejný systém, nebo jsou přímo ke kyvně uložené noze připevněny tlumiče (na bázi pružiny) a ty obstarávají tlumení rázů.



Obr. 30. Systém odpružení, kde je tlačná pružina umístěná v duté trubce nohy podvozku [24]

3 PNEUMATICKÉ PRACOVNÍ PRVKY

K převodu energie stlačeného vzduchu na energii mechanickou (práci) slouží pneumatické pohony. Práci pneumatických pohonů lze realizovat buď jako lineární pohyb (přímočarý vratný), jako rotační pohyb vratný - kyvný, nebo jako rotační pohyb. Lineární pohyb realizují pneumatické válce, membrány nebo fluidní sval. Kyvný pohyb s úhlem kyvu do 270° je realizován pneumatickými křídlovými pohony nebo pohony s ozubeným pastorkem a hřebenem. Rotační pohyb je realizován pneumatickými pohony různého provedení (pístové motory, motory s rotorem s výsuvnými lopatkami, turbíny). [1] [4]



Obr. 31. Rozdělení pneumatických pohonů

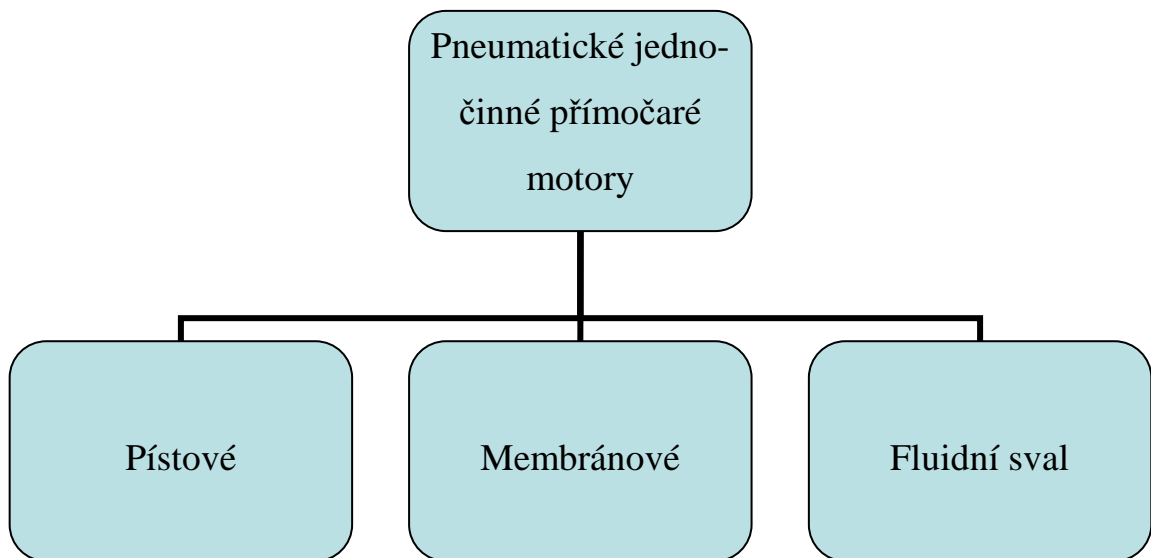
3.1 Pneumatické lineární motory

Pneumatické lineární pohony se dají obecně rozdělit na:

- jednočinné, kde tlak vzduchu působí pouze na jednu pracovní stranu
- dvojčinné, kde tlak vzduchu působí na obě pracovní strany.

3.1.1 Pneumatické lineární jednočinné motory

Pneumatické lineární jednočinné pohony se dají rozdělit dle konstrukce na pístové, membránové a fluidní sval.



Obr. 32. Rozdělení pneumatických jednočinných motorů

Jednočinné pneumatické válce

Patří do skupiny pístových pneumatických motorů. Pneumatické válce různých konstrukcí a provedení jsou nejrozšířenějšími prvky používanými k realizaci lineárního pohybu v různých průmyslových odvětvích. [4]

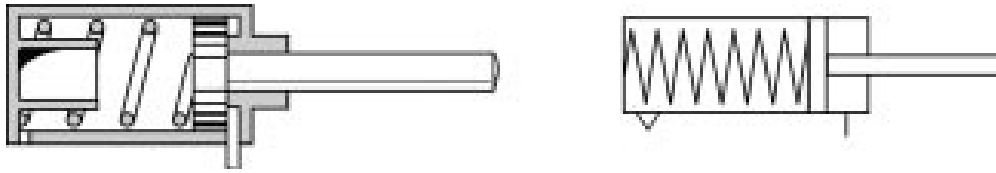
Síla vyvinutá tlakem vzduchu na plochu pístu jednočinného válce působí pouze v jednom směru. Podle provedení válce ji lze využít jako sílu tažnou nebo jako sílu tlačnou. Po přerušení přívodu stlačeného vzduchu do válce je pístnice vrácena do výchozí polohy silou pružiny. Existují dvě základní provedení jednočinných válců: [4]

- s pístnicí v klidové poloze zasunutou



Obr. 33. Jednočinný pneumatický válec s pístnicí v klidové poloze zasunutou [4]

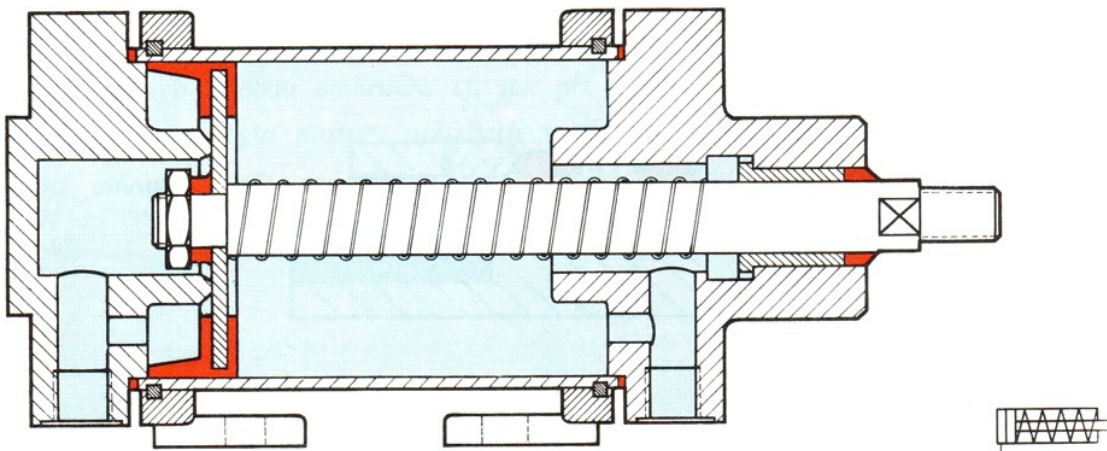
- s pístnicí v klidové poloze vysunutou



Obr. 34. Jednočinný pneumatický válec s pístnicí v klidové poloze vysunutou [4]

Jednočinné pneumatické válce je možné použít k upínání polotovarů, jako vyhazovače u různých přípravků, k podávání polotovarů, jejich zvedání a k realizaci řady dalších operací. Ve srovnání s dvojčinnými pneumatickými válci stejných rozměrů mají menší spotřebu vzduchu. Síla šroubové pružiny působí proti síle vyvinuté tlakem vzduchu na plochu pístu, takže využitelná síla je menší o sílu pružiny. Doraz ve válci brání dosednutí závitů pružiny. Šroubová pružina má také svoji délku, proto jsou jednočinné válce proti dvojčinným válcům se stejným průměrem a zdvihem delší. [4]

Utěsnění pístu ve válci se provádí pružným materiálem (např. Perbunanem) zabudovaným v pístu, který je zhotoven z kovu nebo plastu. Při pohybu se těsněním smýká po vnitřní straně válce. Vedle popsaného principu s pracovním pohybem vyvozeným tlakovým vzduchem se používá též provedení, kdy pracovní zdvih je realizován pružinou a zpětný pohyb je vyvozen tlakovým vzduchem. Příkladem použití tohoto provedení jsou např. vzduchové brzdy u železničních vagonů s výhodou, že brzdy působí i při výpadku energie. [1]

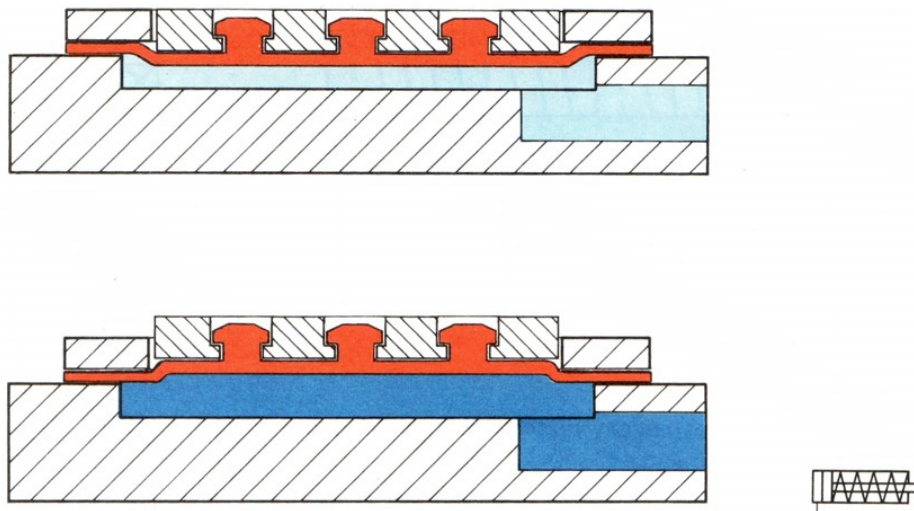


Obr. 35. Řez jednočinným pneumatickým válcem [1]

Membránové motory

Tyto motory jsou známé též pod názvem „tlakové“ příp. „silové krabice“. Úlohu pístu u nich přebírá membrána, které bývá zhotovena z pryže, polymeru nebo z kovu. K membráně je v jejím středu připevněna pístnice, svým obvodem je membrána uchycena v tělese motoru, Odpadá tedy u nich pohyblivé těsnění a vzniká jen vnitřní tření při roztažení membrány.

Použití: při konstrukci přípravků a nástrojů, dále k ražení, nýtování a upínání na lisech. [1]



Obr. 36. Membránový motor [1]

Fluidní sval

Fluidní sval je systém kontrakční membrány, zjednodušené hadice, která se pod tlakem zkracuje. Základní myšlenka spočívá v kombinaci pružné nepropustné hadice, která je ovitá pevnými vlákny tvořícími kosočtvercový vzor. Tak vzniká trojrozměrná mřížková struktura. Pomocí vtékajícího média se mřížková struktura podélně deformuje a vzniká tažná síla v axiálním směru. Mřížková struktura také zajišťuje zkrácení při rostoucím vnitřním tlaku až do neutrálního úhlu. Bez zátěže to odpovídá zdvihu asi 25 % počáteční délky. [5]

„Sval“ vytvoří v protaženém stavu až desetkrát vyšší sílu než konvenční pneumatický válec a při stejné síle spotřebuje pouze 40 % energie. Pro stejnou sílu postačuje třetinový průřez, při stejné montážní délce je zdvih svalu kratší. Toto srovnání otevírá mnoho možností použití – a nabízí zcela nové oblasti použití pro pneumatiku. [5]



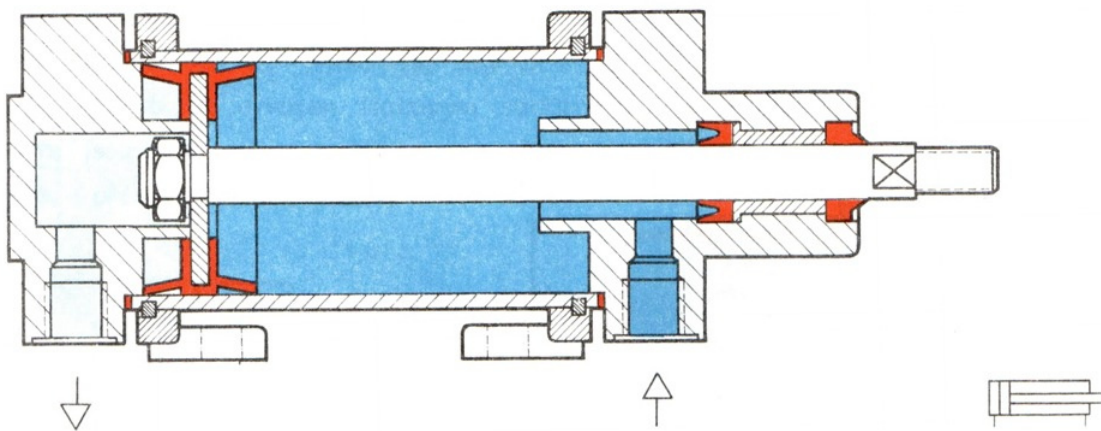
Obr. 37. Fluidní sval firmy FESTO [5]

3.1.2 Pneumatické lineární dvojčinné motory

Dvojčinné pneumatické válce

Jedná se o pneumatické válce, kde síla vyvinutá tlakem vzduchu na plochu pístu působí podle přívodu vzduchu střídavě v obou směrech pohybu pístu. Dvojčinné pneumatické válce se používají tam, kde mechanismus i při zpětném pohybu má vykonávat práci. Zdvih dvojčinných pneumatických válců je teoreticky omezen pouze s ohledem na průhyb a vzpěrnou délku pístnice. [4]

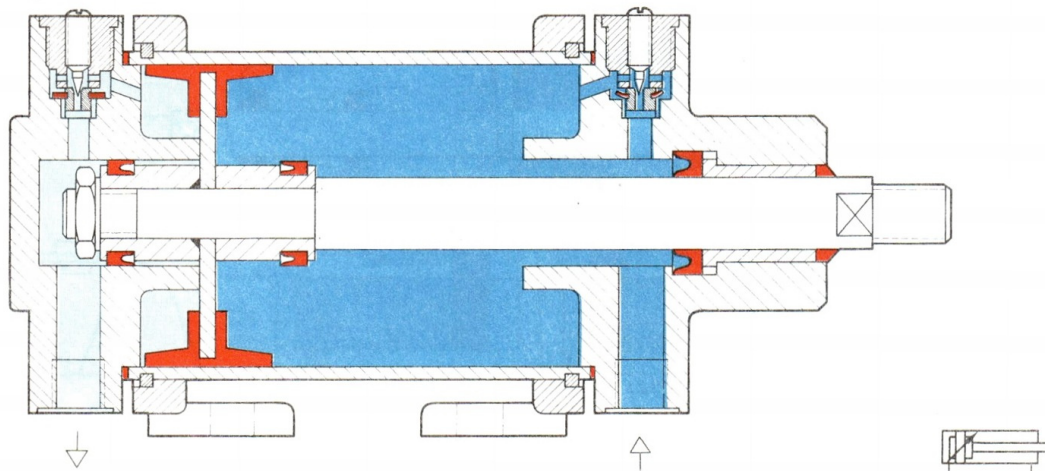
Při zasouvání pístnice vyvinou dvojčinné pneumatické válce menší sílu než při vysouvání, protože účinná plocha pístu je menší o plochu danou průměrem pístnice. To je třeba vzít v úvahu, pokud má válec pracovat se stejným zatížením pístnice v obou směrech. [4]



Obr. 38. Dvojčinný pístový motor [1]

Tlumení v koncových polohách

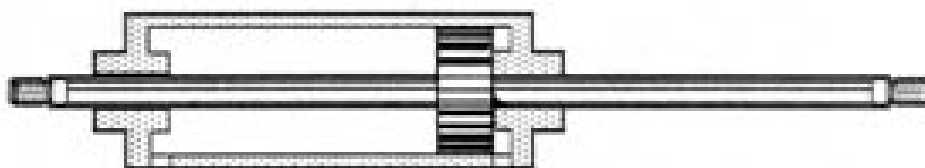
Jestliže jsou s pohybujícím se pístem spojeny velké hmotnosti, používá se tlumení jeho pohybu v koncových polohách, aby se zamezilo vzniku rázů a tím i případnému poškození. Tlumení se dosahuje tím, že píst před dosažením koncové polohy uzavře hlavní odvětrání do ovzduší a pro výtok vzduchu zůstává pouze malý (většinou nastavitelný) průtočný průřez. Tím dochází ke stlačování vyfukovaného vzduchu, přičemž velikost vznikajícího přetlaku lze nastavit škrtícím jednosměrným (zpětným) ventilem. Tím se pohyb pístu před dosažením koncové polohy zpomaluje. Při opačném směru pohybu pístu proudí tlakový vzduch do prostoru válce jednosměrným ventilem volně. Dále může být tlumení realizováno pryžovými dorazy. [1]



Obr. 39. Dvojčinný pístový motor s tlumením v koncových polohách [1]

Pneumatický válec s průchozí pístnicí

Tyto pneumatické válce nejsou citlivé na radiální zatížení pístnice, protože pístnice je uložena ve dvou ložiskách. Kromě toho lze na volný konec pístnice upevnit narážku pro aktivaci koncových spínačů. Síla pneumatického válce je stejná v obou směrech pohybu, protože obě strany pístu mají shodnou plochu. [4]



Obr. 40. Dvojčinný pneumatický válec s průchozí pístnicí [4]

3.1.3 Bezpístnicové lineární pneumatické motory – válce

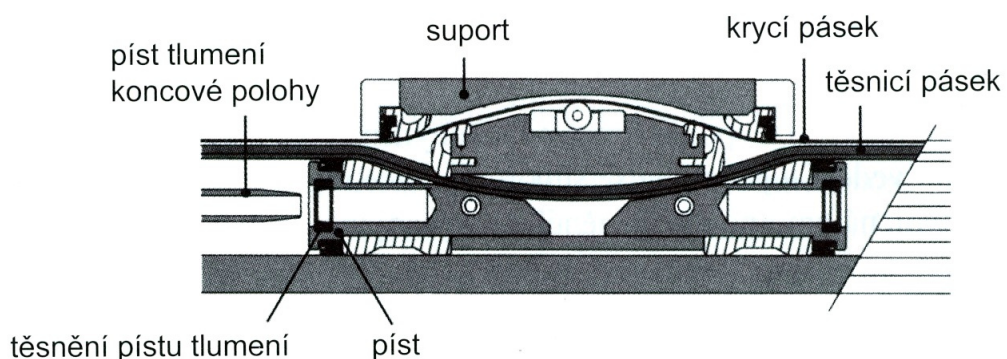
Standardní pneumatický válec se zdvihem 500 mm je s vysunutou pístnicí přibližně 1 200 mm dlouhý. Proti tomu bezpístnicový pneumatický válec se stejným průměrem a zdvihem je dlouhý přibližně 700 mm. Bepístnicové válce se proto využívají tam, kde jsou vyžadovány dlouhé zdvihy v omezeném prostoru. Podle průměru lze dodat válce se standardním zdvihem do 2 000 mm, na zvláštní požadavek s větším zdvihem. [4]

Bezpístnicové válce s magnetickým přenosem síly

Přenos pohybu pístu a síly vyvinuté tlakem vzduchu na plochu pístu se přenáší na suport silnými permanentními magnety. Přenášená síla odpovídá síle standardního pneumatického válce. Narazí-li jezdec velkou rychlostí na pevný doraz, může dojít působením kinetické energie k tzv. utržení pístu, tj. přerušení spojení magnetických siločar, aniž by došlo k poškození válce.

Bezpístnicové válce s mechanickým přenosem síly s integrovaným vedením

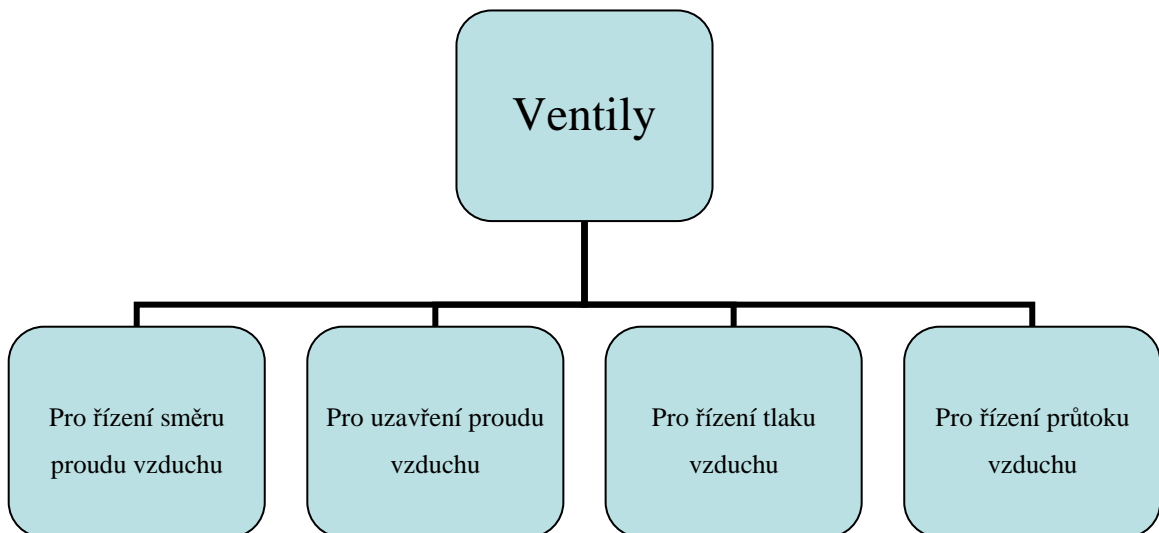
Poloha pístu při jeho pohybu je zaručena vedením v drážce profilu tělesa válce. Tato drážka je zakryta pružným těsnicím páskem. Konstrukce těsnění je poměrně složitá a proti válcům s magnetickým přenosem síly nezaručuje absolutní těsnost. Tyto válce proto nelze použít do velmi čistého prostředí. Pneumatický válec bez pístnice s mechanickým spojením pístu s jezdcem vylučuje přerušení spojení pístu s jezdcem při zvedání nebo přesouvání těžkých předmětů.



Obr. 41. Pneumatický válec bez pístnice s mechanickým spojením pístu s jezdcem [4]

3.2 Pneumatické ventily

Ventily mají vliv na nositele energie - stlačený vzduch. Mění směr proudu energie stlačeného vzduchu, rozdělují jej nebo jej uzavírají. Ke splnění těchto rozdílných požadavků potřebujeme ventily různých provedení. Podle funkce je dělíme na ventily pro řízení tlaku, proudu a směru proudu vzduchu. Ventily jsou podle normy ISO 1219 rozděleny podle funkce do základních skupin, a to: [6]



Obr. 42. Přehled rozdělení ventilů podle funkce [6]

- **ventily pro řízení směru proudu vzduchu** – často se nazývají pouze ventilem nebo rozvaděčem. Mění směr proudu vzduchu otvíráním nebo zavíráním přívodních a výstupních kanálů v tělese ventilu [6]
- **ventily pro uzavření proudu vzduchu** – uzavírají průtok proudu vzduchu v jednom směru. K této skupině se řadí zpětné ventily, logické ventily, atd. [6]
- **ventily pro řízení tlaku proudu vzduchu** – tzv. regulátory tlaku. Ustalují kolísavou hodnotu tlaku v pneumatickém obvodu. Do této skupiny patří také přetlakové a pojistné ventily. [6]
- **ventily pro řízení průtoku vzduchu** – známé pod pojmem škrtící ventily. Těmito ventily se mění plocha průřezu, kterým protéká proud vzduchu. Pře-
važně se používají k regulaci rychlosti pneumatického motoru. [6]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 VOLBA TYPU PODVOZKU, VSTUPNÍ ÚDAJE, POSTUP KONSTRUKCE

V tomto případě se jedná o předový zatačecí podvozek zatahovací. Na trhu jsou k dispozici různé konstrukce. Nejrozšířenější jsou zřejmě systémy americké firmy ROBART, která nabízí zatahovací podvozky všech možných typů a variant, ale pouze do hmotnosti přibližně 25kg (55lbs).

Volba typu podvozku

Vzhledem k zadání BP volím typ podvozku:

- předový
- zatahovací
- pneumaticky ovládaný systémem air up/air down (vzduchem vysunout/vzduchem zasunout)
- nebrzděný
- zatačecí
- odpružený

Předový podvozek byl volen vzhledem k zadání BP. Pro lepší modelovost modelu a širší uplatnění konstrukce byl zvolen podvozek zatahovací. Jednak většina reálných letadel má právě tento typ podvozku a dále se tím zlepšují aerodynamické vlastnosti modelu. Systém ovládání podvozku pneumatickým válcem byl zvolen, pro jeho spolehlivost a dobrou funkčnost. V poslední době je tento systém na RC modelech značně rozšířen, takže i případná koupě náhradních dílů nebo doplňku není žádný problém. Podvozek je nebrzděný, neboť předové podvozky brzděné nebývají. Zatačecí a odpružený podvozek byl zvolen z důvodů lepší ovladatelnosti modelu na zemi při pojíždění, vzletu a přistání.

Vstupní údaje

Dle zadání bude podvozek konstruován pro maximální hmotnost modelu 40kg. Tato hmotnost se rozděluje mezi 3 podvozkové nohy, tzn., že na každé podvozkové noze spočívá 1/3 hmotnosti modelu. Při přistání popř. pádu modelu, model dopadne na zem určitou rychlos-

ti a tím pádem nastane krátkodobé přetížení, které musí podvozek vydržet. V našem případě bylo toto přetížení stanoveno na 3g. To znamená, že v okamžiku dopadu bude mít model krátkodobě hmotnost $40 \cdot 3 = 120\text{kg}$. Přetížení 3g je voleno s ohledem na přibližnou rychlost pádu $2,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ se zbrzděním na rychlost $0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ na vzdálenosti 10cm (pohlčení nárazu odpružení + „zarytí“ podvozku do země) a to pouze v ideálním případě, kdy model „spadne“ na všechny tři podvozky zároveň (při správném přistání modelu se hodnota přetížení g pohybuje kolem hodnoty 1g). V případě, kdy dochází k havárii model obvykle spadne v nějaké nenormální poloze (ne na „tři body“), v těchto případech nastává obvykle celková destrukce modelu, proto hodnoty přetížení do 3g budou pro výpočty podvozku při běžném provozu dostačující. Příd'ový podvozek tím pádem musí vydržet 1/3 daného zatížení, což je 40kg, proto budou všechny namáhané prvky počítány pro tuto hmotnost, tím pádem pro plnou hmotnost modelu. Jediná výjimka nastává u výpočtu odpružení, kde pro správnou funkčnost odpružení bude pružina počítána pro celkovou hmotnost modelu 40kg, rozdělenou mezi všechny podvozkové nohy.

Postup konstrukce

- rozvržení podvozku – schéma, návrh kinematického schématu
- samotná konstrukce podvozku
 - návrhy jednotlivých částí s ohledem na instalaci pneumatického válce
 - volba materiálů jednotlivých částí
 - volba normalizovaných a nakupovaných částí
 - volba typu odpružení
 - předběžná volba pneumatického válce
- schéma silového rozložení na hotovou konstrukci podvozku
- pevnostní kontrola namáhaných částí (čepy, ložiska, atd.)
- v případě nevyhovující pevnostní kontroly, úprava daných částí tak, aby pevnostně vyhovovaly
- výpočet odpružení

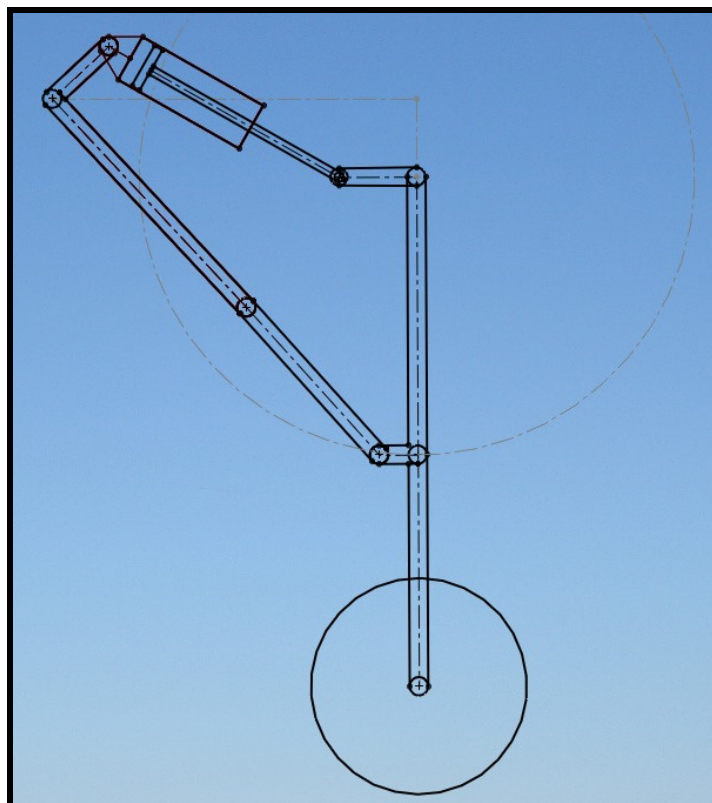
- volba pneumatického válce, jeho konečná implementace do konstrukce podvozku, výpočet a volba parametrů pneumatického válce a pneumatického obvodu
- výkresy:
 - sestavy podvozku s kusovníkem
 - izometrický náhled sestavy

5 KONSTRUKCE 1. VARIANTY

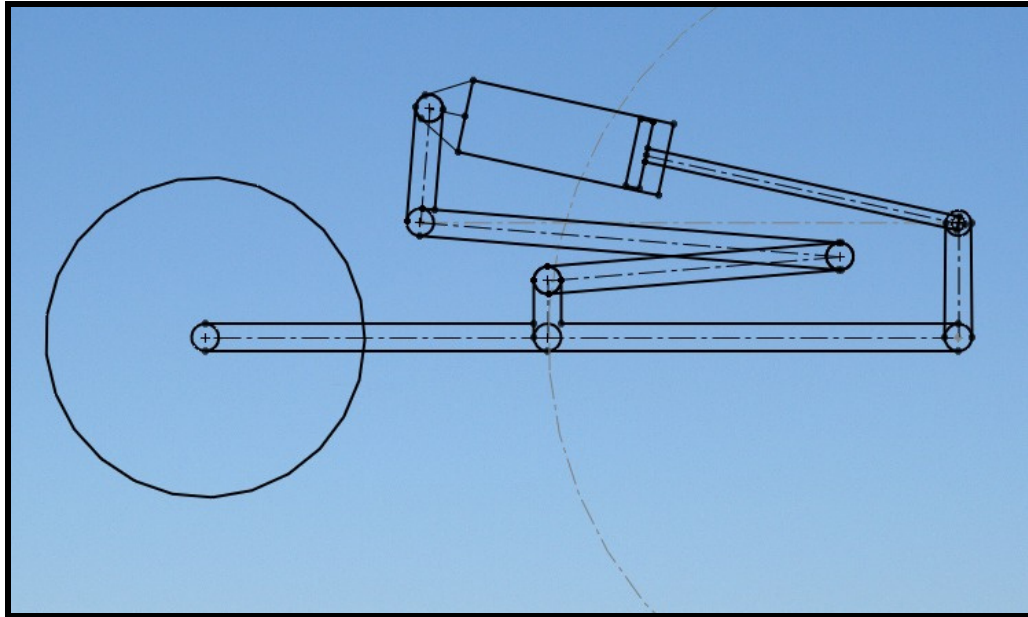
1. konstrukční varianta je koncipována tak, aby připomínala svým vzhledem a funkcí podvozky používané v reálných letadlech a to především u typů používaných za 2. světové války, v menších sportovních letadlech a u dopravních letadel staršího data výroby. Tím pádem bude široce použitelná, ovšem pouze tam, kde bude prostor pro montáž, neboť tato konstrukce bude mít poněkud větší montážní výšku. Mezi další výhody této konstrukce bude patřit snadné ovládání zatáčení podvozku.

5.1 Rozvržení podvozku – schéma, návrh kinematického schématu

Podvozek se bude zatahovat směrem dozadu nebo dopředu (v závislosti na montáži do modelu). Vlastní zatahování a vytahování bude prováděno za pomoci dvojčinného pneumatického válce. Zatáčení bude realizováno za pomoci ovládací páčky a otáčivý moment bude přenášen dutým nábojem na kolo podvozku. Samotná hlavní noha podvozku bude vyztužena vzpěrami, které budou fungovat jako funkční prvek v zasouvacím mechanismu a zároveň jako pojistný prvek proti samovolnému zatažení podvozku, neboť v otevřené poloze budou obě vzpěry orientovány proti sobě a to znemožní jejich vybočení a tím zasunutí.



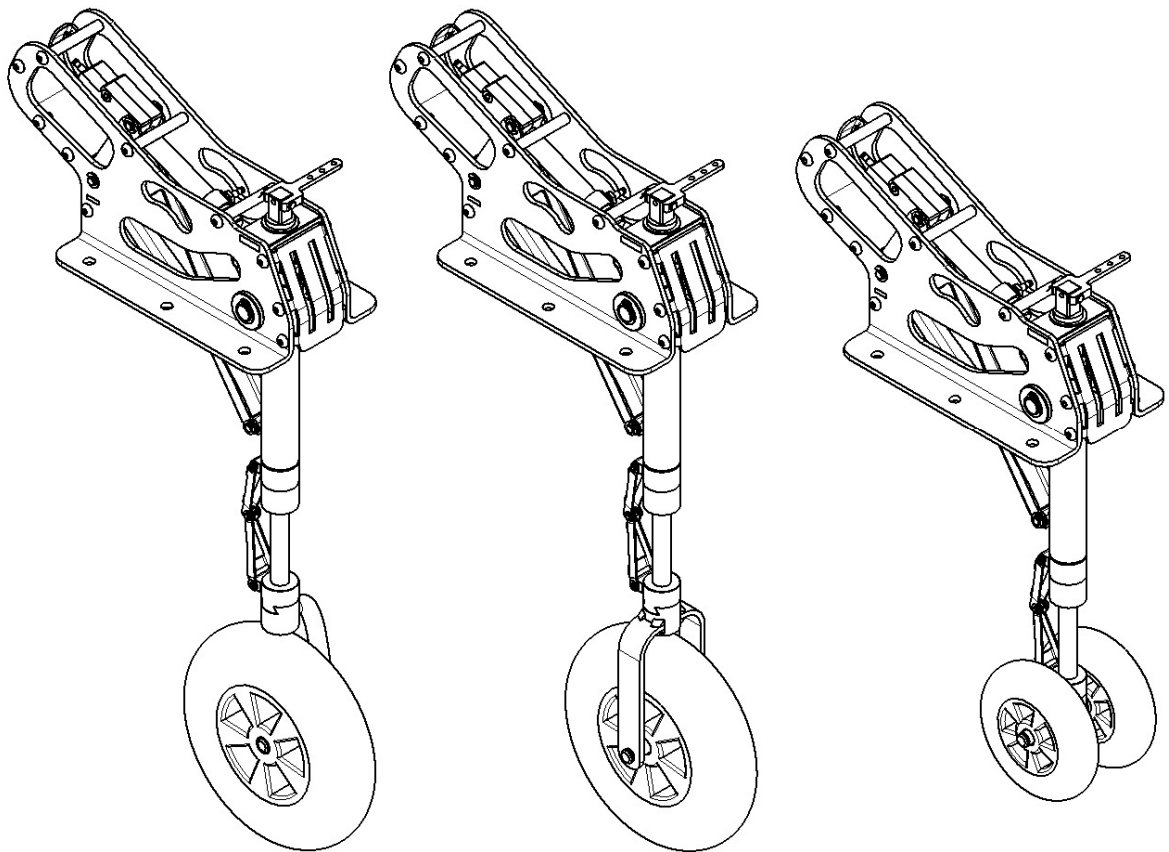
Obr. 43. Schéma podvozku ve vytažené poloze



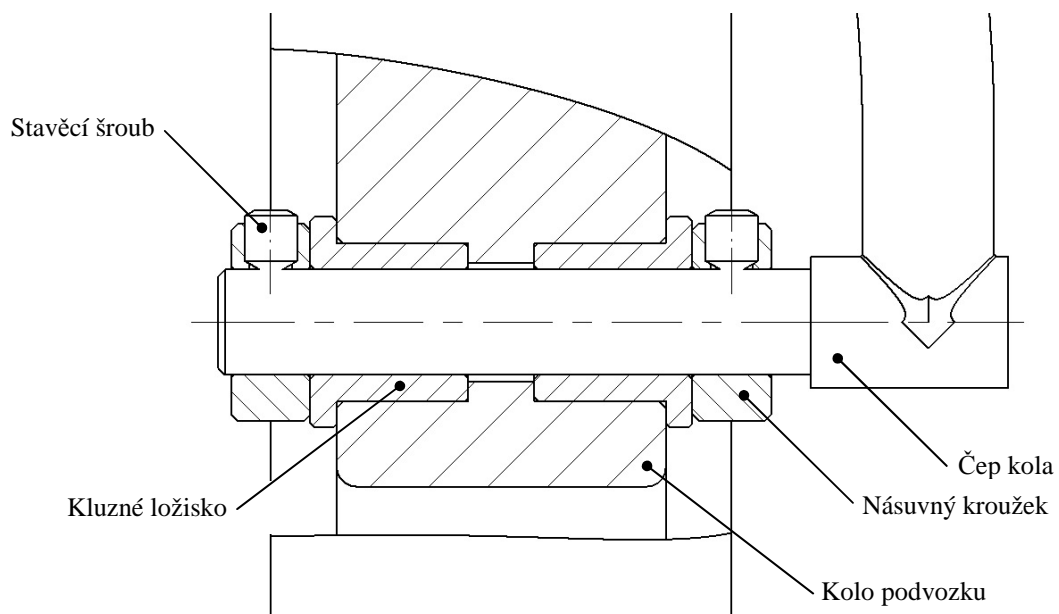
Obr. 44. Schéma podvozku v zatažené poloze

5.2 Samotná konstrukce podvozku

Podvozek byl konstruován za pomoci programu Autodesk Inventor Professional 2009. Jako materiál byla použita především slitina hliníku DURAL a ocel 11600. Bližší specifikace materiálů jsou vypsány v kusovníku. Odpružení je zvoleno systémem tlačné pružiny, která je umístěna v dutém náboji podvozku. Uchytení kola podvozku (jakékoliv dostupné modelářské kolo ve vhodném měřítku) je řešeno jako vyměnitelné s různými nástavci, tím je umožněna výroba jedné verze podvozku s mnoha variantami vzhledu podvozku. Ložiska byla použita kluzná a to bronzová nebo polyamidová od firmy SKF. Pneumatický válec byl použit od firmy FESTO, kdy byl zvolen typ válce a pak měněn zdvih. Přesnější specifikace budou popsány dále. Konstrukce umožňuje montáž prakticky jakéhokoli modelářského kola vhodné velikosti a to tím způsobem, že čep kola je už z výroby delší a modelář si ho zkrátí dle kola, které bude na podvozek montovat. Vzájemný pohyb pak zajistí kluzné ložiska o vnitřním průměru $d = 8$ mm. Celé kolo se pak pojistí proti posuvu kroužky, ve kterých je díra se závitem pro stavěcí šroub. Tento systém je použit u všech tří variant nástavců. Ve výkresech sestavy a obrázcích je kolo se zkráceným čepem znázorněno pouze ilustrativně.



Obr. 45. Podvozek umožňuje použití 3 nastavců na kolo

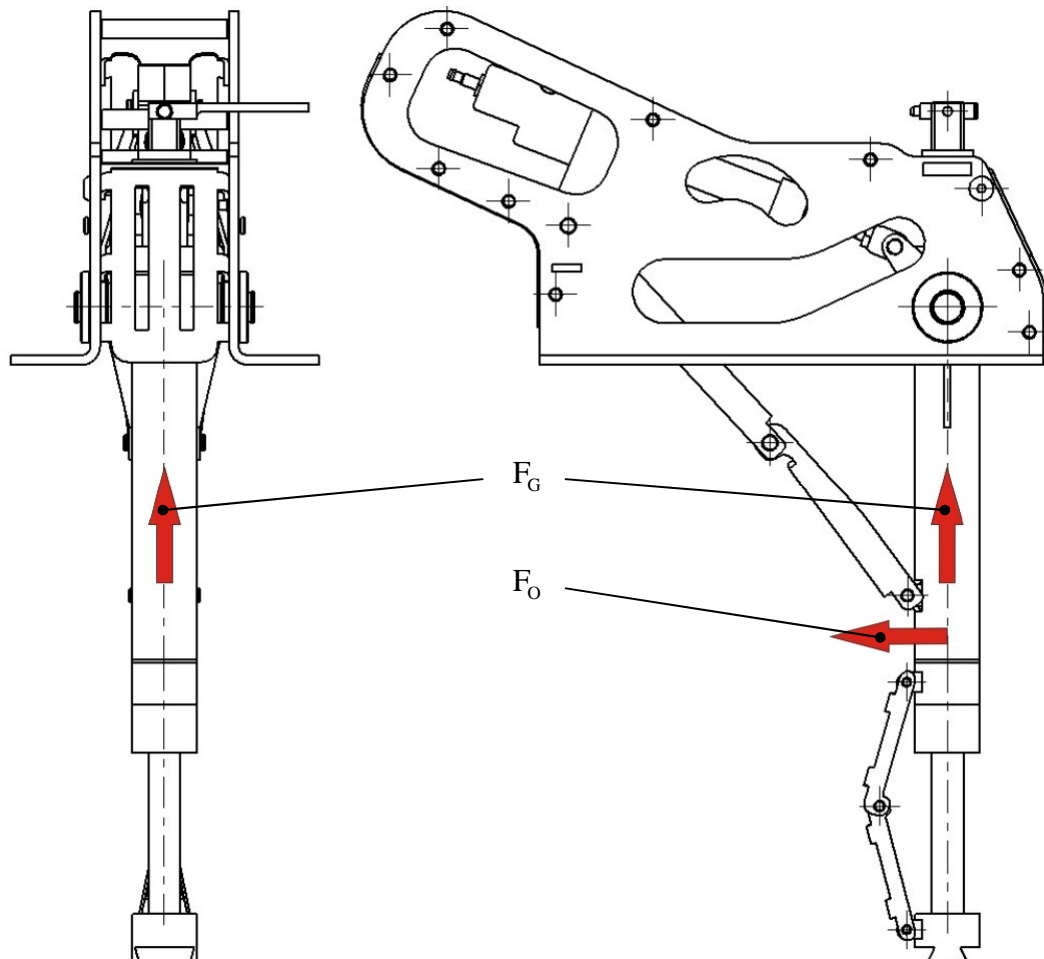


Obr. 46. Schéma montáže kola na podvozek

Schéma silového rozložení:

Legenda:

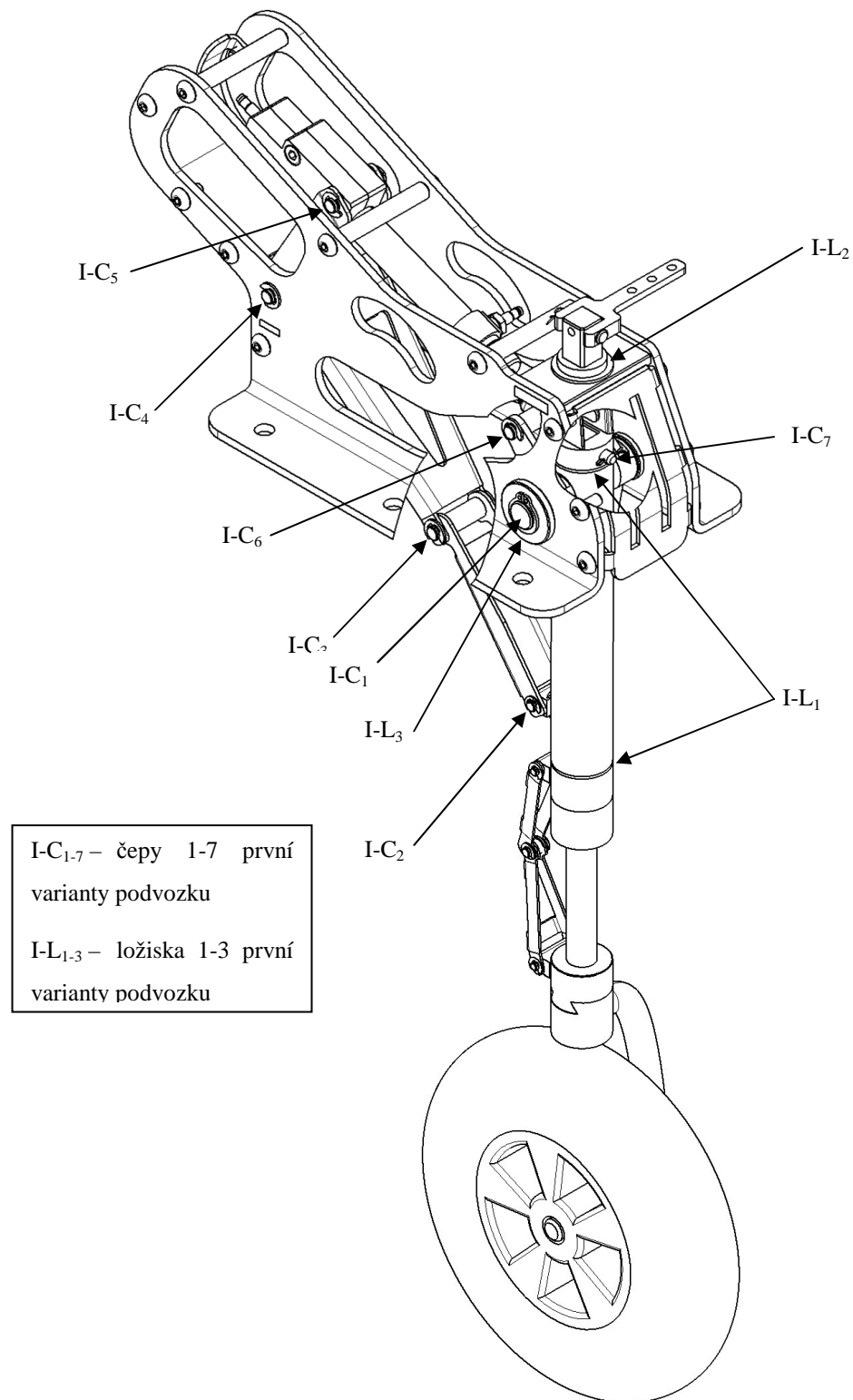
- $F_G = 392,4 \text{ N}$ – maximální síla vznikající při nárazu po pádu modelu
- $F_O = 1177,2 \text{ N}$ – síla, která může vzniknout při nárazu modelu do pevné překážky. Vychází z celkové hmotnosti modelu v okamžiku nárazu, při kterém dochází k přetížení 3g (přibližná rychlost 2,5m/s), kde je počítáno s deformační zónou 100mm (např. trup modelu). Tato hodnota je pro výpočet dostačující neboť při této síle již může dojít k rozsáhlejšímu poškození modelu, např. vytržení celého podvozku ze svého uchycení v modelu.



Obr. 47. Schéma silového rozložení

5.3 Pevnostní kontrola namáhaných částí

Tato kapitola se bude zabývat výpočty namáhaných částí dle přiloženého obrázku (Obr. 48) hotové konstrukce podvozku.



Obr. 48. Celkový pohled na konstrukci podvozku

5.3.1 Výpočty kluzných ložisek

Kluzná ložiska použitá v konstrukci jsem volil od firmy SKF. Ložiska budou kontrolována na měrný tlak ve stykových plochách.

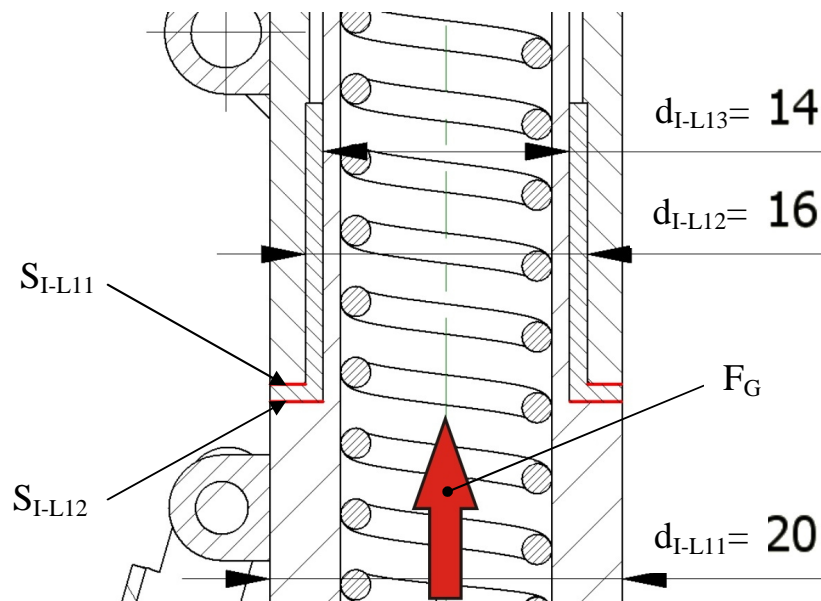
Ložisko I-L₁:

Vzhledem ke konstrukci jsem volil ložisko: SKF PPMF 141617 z materiálu PTFE – teflon. Výhody těchto ložisek jsou chod bez údržby, nízké náklady, odolnost vůči korozi.

Charakteristiky ložiska SKF PPMF 141617 (dle katalogu SKF):

Přípustné zatížení (dynamické/statické):	40/80	MPa
Přípustná kluzná rychlost:	1	m/s
Součinitel tření μ	0,06 ÷ 0,15	
Teplotní rozsah	-30 ÷ +110	°C

Výpočet:



Obr. 49. Umístění ložiska v konstrukci

Dáno: $F_G = 392,4 \text{ N}$

Průměry ložiska $d_{I-L11} = 20 \text{ mm}$, $d_{I-L12} = 16 \text{ mm}$, $d_{I-L13} = 14 \text{ mm}$

Dovolené zatížení ložiska $p_{D-I-L1} = 40 \text{ MPa}$

S_{I-L11}, S_{I-L12} – plochy ložiska

Plocha ložiska S_{I-L11} :

$$S_{I-L11} = \left(\frac{\pi \cdot d_{I-L11}^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot d_{I-L12}^2}{4} \right) = \left(\frac{\pi \cdot 20^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot 16^2}{4} \right) \quad (1)$$

$$S_{I-L11} = 113,1 \text{ mm}^2$$

$$p_{I-L11} = \frac{F_G}{S_{I-L11}} = \frac{392,4}{113,1} \quad (2)$$

$$p_{I-L11} = 3,47 \text{ MPa}$$

$$p_{I-L11} \leq p_{D-I-L1} \quad (3)$$

$$3,47 \leq 40$$

Plochu ložiska S_{I-L12} není nutno kontrolovat, neboť z obrázku (Obr. 47) vyplývá, že je plocha větší, tím pádem je zaručeno, že hodnota napětí p_{I-L12} nepřesáhne hodnotu p_{D-I-L1} .

Napětí p_{I-L11} a p_{I-L12} nepřesáhlo dovolenou hodnotu p_{D-I-L1} , tím pádem ložisko SKF PPMF 141617 vyhovuje.

Ložisko I-L₂:

Vzhledem ke konstrukci jsem volil ložisko: SKF PPMF 121409 z materiálu PTFE – teflon. Výhody a vlastnosti tohoto ložiska jsou popsány u výpočtu ložisek I-L₁, neboť se jedná o stejný materiál.

Ložisko I-L₂ nebylo kontrolováno, neboť síly působící na ložisko jsou minimální a nepřekročí hodnotu $p_{D-I-L2} = 40 \text{ MPa}$.

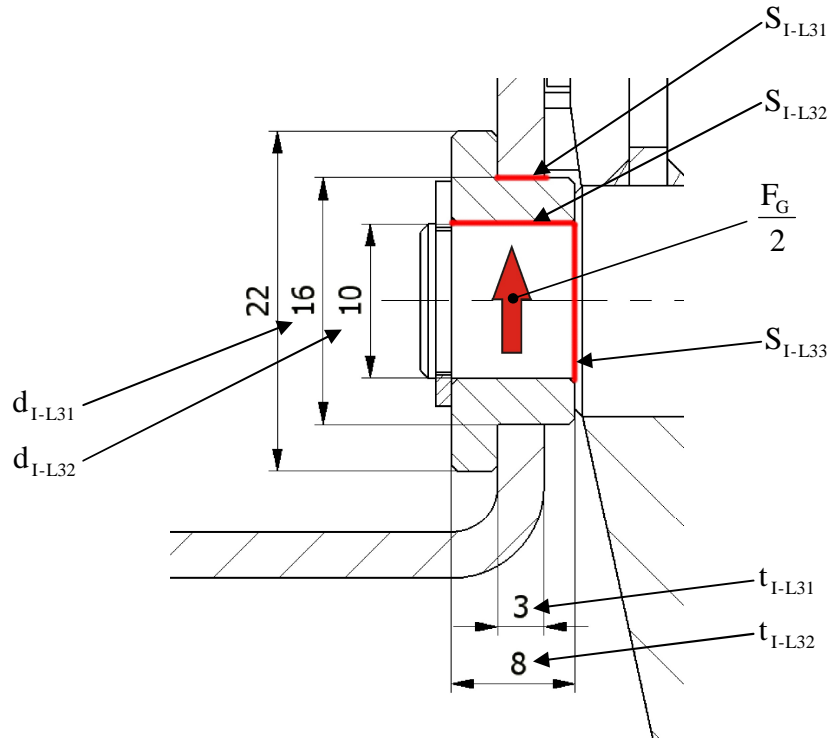
Ložisko I-L₃:

Vzhledem ke konstrukci jsem volil ložisko: SKF PSMF 101608 z materiálu slinutý bronz. Výhody těchto ložisek jsou chod bez údržby, nízké tření, není nutno domazávat.

Charakteristiky ložiska SKF PSMF 101608 (dle katalogu SKF):

Přípustné zatížení (dynamické/statické):	10/50	MPa
Přípustná kluzná rychlost:	10	m/s
Součinitel tření μ	0,05 ÷ 0,1	
Teplotní rozsah	-10 ÷ +100	°C

Výpočet:



Obr. 50. Umístění ložiska v konstrukci

Dáno: $F_G = 392,4 \text{ N}$

Průměry ložiska $d_{I-L31} = 16 \text{ mm}$, $d_{I-L32} = 10 \text{ mm}$,

Délkové rozměry $t_{I-L31} = 3 \text{ mm}$, $t_{I-L32} = 8 \text{ mm}$

Dovolené zatížení ložiska $p_{D-I-L3} = 50 \text{ MPa}$

S_{I-L31} , S_{I-L32} , S_{I-L33} – plochy ložiska

Výpočet zatížení bude vztažen pouze a plochu S_{I-L31} neboť má menší rozměr než plocha S_{I-L32} , tím pádem je v případě vyhovujícího výsledku předpoklad, že bude vyhovovat i hodnota zatížení pro plochu S_{I-L32} .

$$p_{I-L31} = \frac{\frac{F_G}{2}}{S_{I-L31}} = \frac{\frac{F_G}{2}}{d_{I-L31} \cdot t_{I-L31}} = \frac{392,4}{16 \cdot 3} \quad (4)$$

$$p_{I-L31} = 4,09 \text{ MPa}$$

$$p_{I-L31} \leq p_{D-I-L3} \quad (5)$$

$$4,09 \leq 50$$

Napětí p_{I-L31} nepřesáhlo dovolenou hodnotu p_{D-I-L3} , tím pádem ložisko SKF PSMF 101608 vyhovuje.

5.3.2 Výpočty čepů

Čepy budou kontrolovány na střih a na otláčení. Všechny čepy v konstrukci jsou z materiálu 11 600 ($R_m=650\text{MPa}$, $\tau_{D-I\check{C}}=90\text{MPa}$, $p_{D-I\check{C}} = 90\text{MPa}$).

Čepy, které nejsou v obrázku (Obr. 48) označeny počítány nebyly, neboť na ně působí zanedbatelné síly a jejich funkce je pouze vymežující nebo přidržovací.

Čep I-C₁:

Umístění čepu v konstrukci, jeho rozměry a zatížení je znázorněno na obrázku (Obr. 50).

Čep bude kontrolován na střih a na otláčení.

Dáno: $F_G = 392,4 \text{ N}$

$$d_{I-L31} = 16 \text{ mm}, d_{I-L32} = 10 \text{ mm}, t_{I-L31} = 3 \text{ mm}, t_{I-L32} = 8 \text{ mm}$$

Dovolené zatížení čepu $p_{D-I\check{C}} = 90\text{MPa}$, $\tau_{D-I\check{C}}=90\text{MPa}$

$$\tau_{I-\check{C}1} = \frac{F_G}{S_{I-L33}} = \frac{F_G}{\frac{\pi \cdot d_{I-L32}^2}{4}} = \frac{392,4}{\frac{\pi \cdot 10^2}{4}} \quad (6)$$

$$\tau_{I-\check{C}1} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{I-\check{C}1} &\leq \tau_{D-I\check{C}1} \\ 2,5 &\leq 90 \end{aligned} \quad (7)$$

$$p_{I-\check{C}1} = \frac{F_G}{S_{I-L31}} = \frac{F_G}{d_{I-L32} \cdot t_{I-L32}} = \frac{392,4}{10 \cdot 8} \quad (8)$$

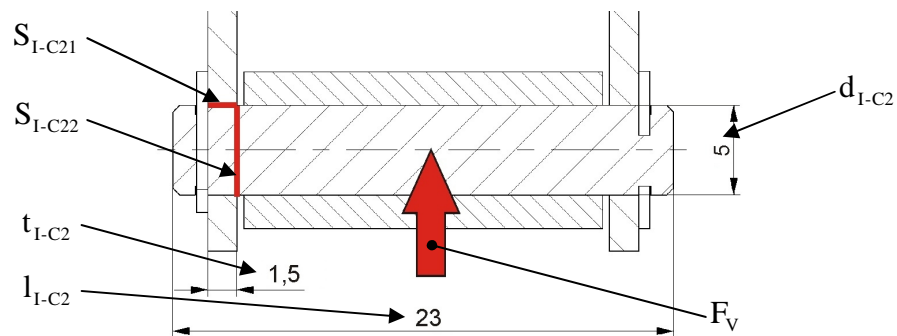
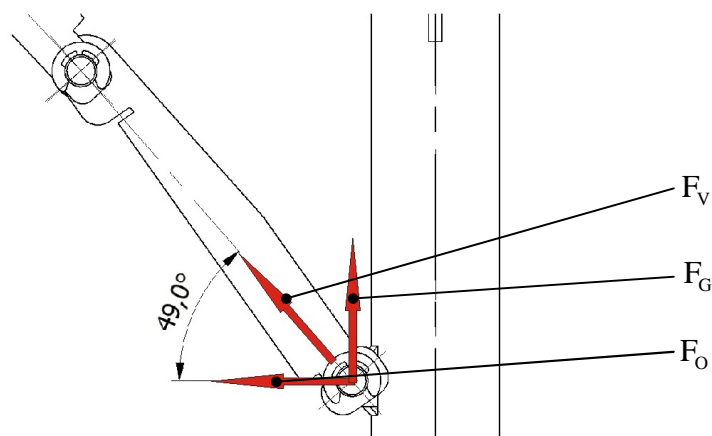
$$p_{I-\check{C}1} = 2,45 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} p_{I-\check{C}1} &\leq p_{D-I\check{C}1} \\ 2,45 &\leq 90 \end{aligned} \quad (9)$$

Tlakové napětí $p_{I-\check{C}1}$ a smykové napětí $\tau_{I-\check{C}1}$ nepřesáhlo dovolenou hodnotu $p_{D-I\check{C}1}$ a $\tau_{D-I\check{C}1}$, tím pádem čep I-C₁ vyhovuje.

Čepy I-C₂ ÷ I-C₇:

Všechny čepy I-C₂ ÷ I-C₇ mají průměr $d = 5$ mm, proto z hlediska ušetření času bude kontrolován pouze čep I-C₂, u kterého by z hlediska umístění při nárazu modelu do pevné překážky došlo k největšímu zatížení jak na stříh, tak na otláčení. V případě, že čep I-C₂ bude vyhovovat, bude téměř jisté, že i čepy I-C₃ ÷ I-C₇ budou vyhovovat také.


 Obr. 51. Umístění čepu I-C₂ v konstrukci

 Obr. 52. Schéma silového zatížení čepu I-C₂

Dáno: $F_G = 392,4$ N, $F_O = 1177,2$ N

Délkové rozměry čepu $t_{I-C2} = 1,5$ mm, $l_{I-C2} = 23$ mm

Průměr čepu $d_{I-C2} = 5$ mm,

Dovolené zatížení čepu $p_{D-I-C2} = 90$ MPa, $\tau_{D-I-C2} = 90$ MPa

S_{I-C21} , S_{I-C22} – plochy čepu

$$F_V = \sqrt{F_G^2 + F_O^2} = \sqrt{392,4^2 + 1177,2^2}$$

$$F_V = 1241 \text{ N} \quad (10)$$

$$\tau_{I-C2} = \frac{\frac{F_V}{2}}{S_{I-C22}} = \frac{\frac{F_V}{2}}{\frac{\pi \cdot d_{I-C2}^2}{4}} = \frac{\frac{1241}{2}}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} \quad (11)$$

$$\tau_{I-C2} = 31,6 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{I-C2} &\leq \tau_{D-I-C2} \\ 31,6 &\leq 90 \end{aligned} \quad (12)$$

$$p_{I-C2} = \frac{\frac{F_V}{2}}{S_{I-C21}} = \frac{\frac{F_V}{2}}{d_{I-C2} \cdot t_{I-C2}} = \frac{\frac{1241}{2}}{5 \cdot 1,5} \quad (13)$$

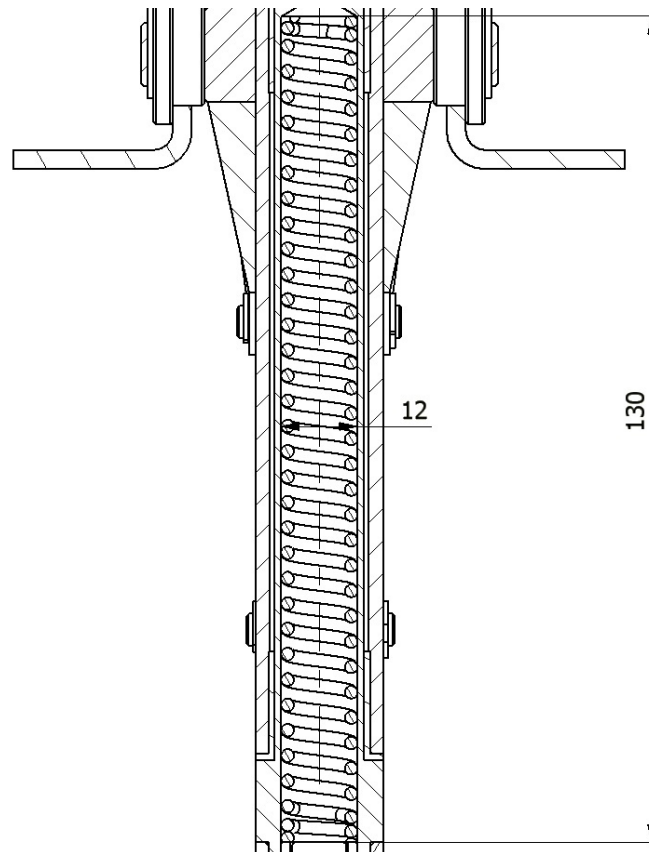
$$p_{I-C2} = 82,7 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} p_{I-C2} &\leq p_{D-I-C2} \\ 82,7 &\leq 90 \end{aligned} \quad (14)$$

Tlakové napětí p_{I-C2} a smykové napětí τ_{I-C2} nepřesáhlo dovolenou hodnotu p_{D-I-C2} a τ_{D-I-C2} , tím pádem čep I-C₂ vyhovuje. Zároveň vyhovují čepy I-C₃ ÷ I-C₇.

5.4 Výpočet odpružení

Odpružení podvozku je realizováno tlačnou pružinou umístěnou v duté tyči podvozku. Výpočet pružiny odpružení byl prováděn za pomoci výpočtového modulu programu Autodesk Inventor Professional 2009, dle zadaných parametrů. Z výpočtu je vytvořena zpráva, která je uvedena v příloze č. 1.



Obr. 53. Umístění pružiny v konstrukci

Vstupní parametry pružiny, na základě kterých byl prováděn výpočet:

Délka v nezatíženém stavu $L_1 = 130$ mm, pracovní zdvih $H = 50$ mm

Vnější průměr pružiny $D_1 = 12$ mm, maximální zatížení $F_8 = 250$ N

Pracovní síla $F = 140$ N

Zatížení 140 N vychází z předpokladu, že hmotnost modelu vážícího 40 kg se rozloží mezi 3 podvozkové nohy, což je po zaokrouhlení 14 kg. Z této hmotnosti vychází zatížení 140 N. Maximální zatížení $F_8 = 250$ N je voleno s ohledem na hmotnost modelu a na funkčnost pružiny jako pružícího prvku.

5.5 Návrh a výpočet pneumatického válce a pneumatického obvodu

Mechanismus zavírání a otevírání podvozku bude poháněn pneumatickým válcem. Už během konstrukce podvozku byl předběžně zvolen pneumatický válec firmy FESTO DSNU (splňuje požadavky normy ISO 6432) s průměrem válce $D_{P-I} = 10$ mm a to pro jeho vhodné parametry jako max. síla válce F_{P-I} (závisí na průměru D_{P-I}), vhodná zástavbová velikost, vhodná hmotnost, vhodné provozní podmínky. Vzhledem ke konstrukci mechanismu podvozku byl měněn pouze zdvih válce, který byl nakonec stanoven na $s_{I-P} = 62$ mm. Proto byl do konstrukce nakonec zvolen válec **FESTO 193987 DSNU-10-62-P-MA** s parametry:

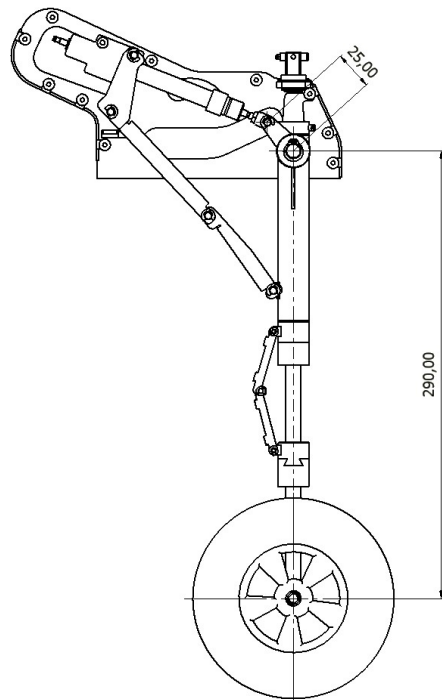
Tab. 2. Parametry válce FESTO 193987 DSNU-10-62-P-MA

FESTO 193987 DSNU-10-62-P-MA	
Provozní podmínky	
provozní médium	filtrovaný stlačený vzduch, mazaný nebo nemazaný
provozní tlak	1,5 ÷ 10 [bar]
Síly [N]	
teoretická síla při 600 kPa, vysunutí válce	47
teoretická síla při 600 kPa, zasunutí válce	40
Hmotnost [g]	
hmotnost válce (válec + pístnice)	54,1

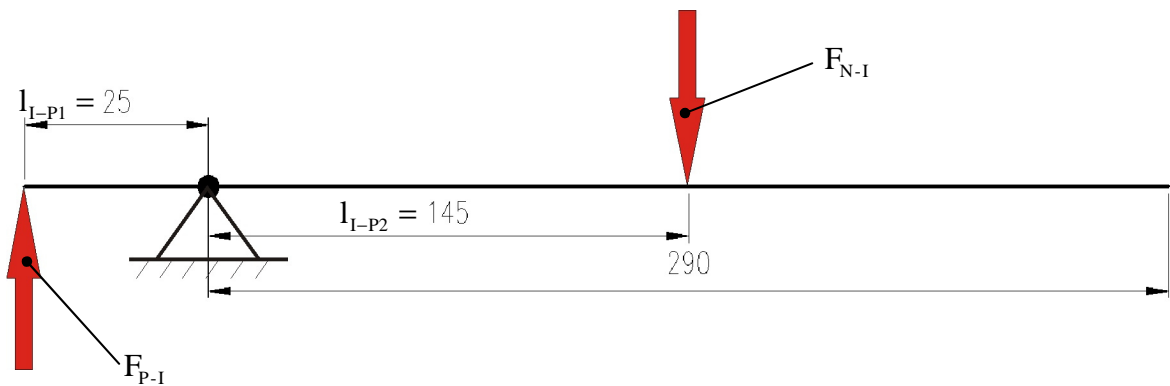
5.5.1 Stanovení nejmenšího pracovního tlaku pístu:

Největší sílu musí válec vyvinout při pohybu vpřed, kdy je podvozek zatahován. Nejmenší pracovní tlak v pneumatickém okruhu modelu bude tedy vycházet ze síly, které je nutná pro zatažení podvozku, neboť při vytažení podvozku pomáhá vytažení hmotnost nohy.

Pístu bude působit na nohu podvozku přes páku, jak je znázorněno na obrázku (Obr. 54). Výpočet tedy bude prováděn podle zjednodušeného schématu dle obrázku (Obr. 55), kde F_{P-I} je síla, která musí být vyvozena pístem, a síla F_{N-I} , což je síla vyvozena hmotností sestavy nohy podvozku m_{N-I} , působící v těžišti. Poloha těžiště byla přibližně odhadnuta a je vztažena pro nejvyšší variantu podvozku (nádstavce) a pro vysunutou polohu pístu odpružení.



Obr. 54. Schéma umístění válce



Obr. 55. Zjednodušený obrázek rozložení a působení sil

Dáno: hmotnost nohy podvozku $m_{N-I} = 0,38 \text{ kg}$

délkové rozměry $l_{I-P1} = 25 \text{ mm}$, $l_{I-P2} = 145 \text{ mm}$

síla válce F_{P-I} , síla vznikající působením hmotnosti nohy podvozku F_{N-I}

$$F_{N-I} = m_{N-I} \cdot 9,81 = 0,38 \cdot 9,81$$

$$F_{N-I} \doteq 3,73 \text{ N} \quad (15)$$

$$F_{P-I} \cdot l_{I-P1} = F_{N-I} \cdot l_{I-P2}$$

$$F_{P-I} = \frac{F_{N-I} \cdot l_{I-P2}}{l_{I-P1}} = \frac{3,73 \cdot 145}{25}$$

$$F_{P-I} = 21,7 \text{ N} \quad (16)$$

Po zaokrouhlení je síla, kterou musí píst vyvinout $F_{P-I} = 22 \text{ N}$, proto bude proveden výpočet nejmenšího možného tlaku v obvodu vztažen k této hodnotě.

Dáno: $F_{P-I} = 22 \text{ N}$, $D_{P-I} = 10 \text{ mm}$

$$F_{P-I} = S_{I-P} \cdot p_{I-MIN}$$

$$p_{MIN-I} = \frac{F_{P-I}}{S_{P-I}} = \frac{F_{P-I}}{\frac{\pi \cdot d_{P-I}^2}{4}} = \frac{22}{\frac{\pi \cdot 0,01^2}{4}} \quad (17)$$

$$p_{MIN-I} = 280,1 \text{ kPa}$$

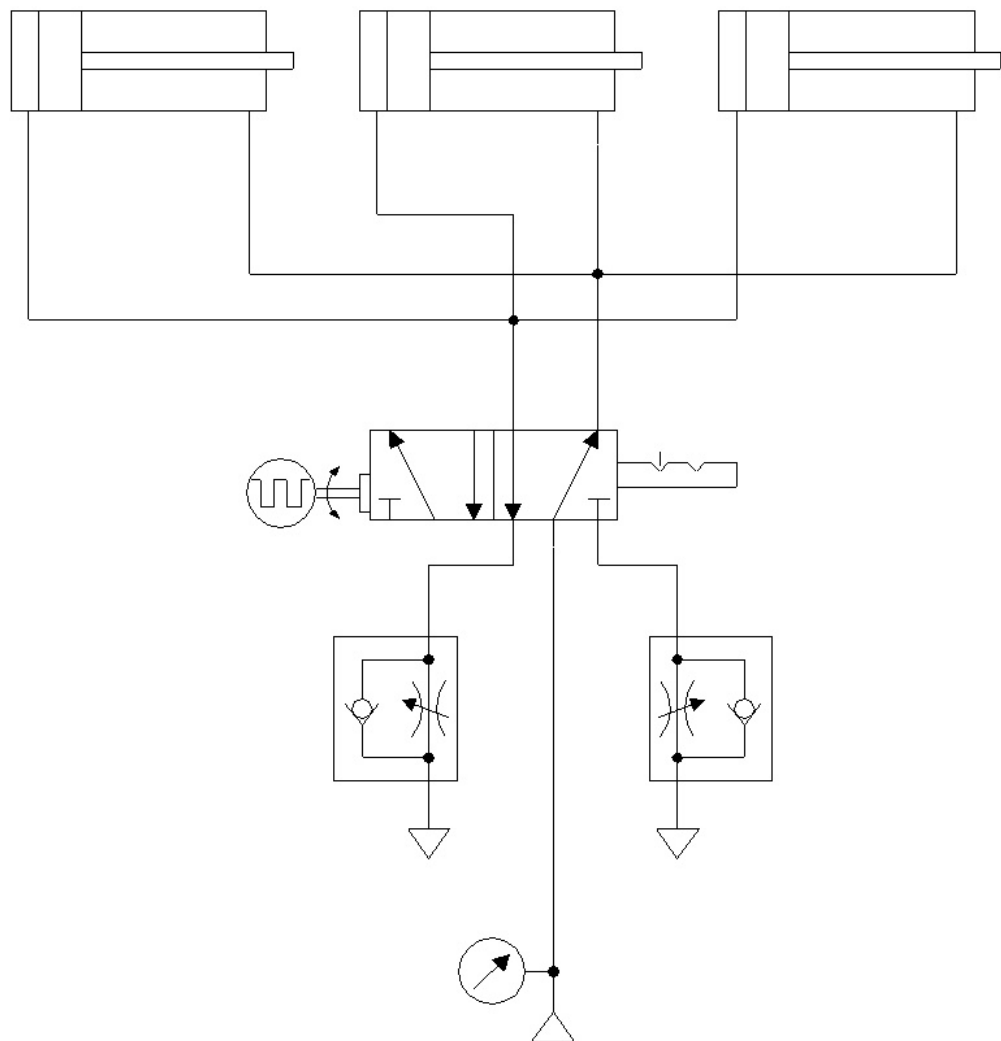
Hodnota tlaku $p_{MIN-I} = 280,1 \text{ kPa}$ musí být upravena koeficientem bezpečnosti $k_b = 1,5$ ve kterém jsou obsaženy ztráty způsobené třením v součástech a únikem tlakového vzduchu, proto byl nejmenší pracovní tlak v obvodu stanoven na hodnotu $p_{MIN-I} = 420 \text{ kPa}$

5.5.2 Návrh pneumatického obvodu:

Navrhovaný pneumatický obvod v RC modelu bude vyhrazen pouze pro zavírání a otevírání podvozku, vzhledem ke spotřebě vzduchu a bezpečnosti. Obvod bude navrhován pro 3 kolový podvozek, tzn. použití 3 pneumatických válců a s ohledem na to, že bude umístěn v RC modelu, proto zde budou chybět určité prvky obvodu, které se do běžných obvodů zařazují (filtry, maznice, tlumiče hluku, atd.). Obvod se bude skládat z následujících částí:

- tlaková nádrž – firma ROBART, Large Pressure Tank, Part # 192
- mechanicky ovládaný 5/2 vzduchový ventil – firma ROBART, Variable Rate Control Valve, Part # 167VR
- pneumatický válec - FESTO 193987 DSNU-10-62-P-MA
- jednosměrné škrťící ventily – obsaženy přímo v konstrukci 5/2 vzduchového ventilu
- pneumatické hadice a spojky – firma ROBART
- manometr – firma SMC – G15-10-01

Pracovní tlak v obvodu bude mít hodnoty $p_I = 420 \text{ kPa} \div 1 \text{ MPa}$ (max. možný tlak v uvažované tlakové nádrži). Pneumatický válec je použit od firmy FESTO, ostatní komponenty jsou od firmy ROBART, které vyrábí pneumatické komponenty přímo pro RC modely kromě manometru, který je použit od firmy SMC.



Obr. 56. Schéma pneumatického obvodu

5.5.3 Výpočet přibližného počtu zdvihů n_I pro 3 válce

Tlak v tlakové nádrži se s každým pracovním cyklem postupně snižuje. V modelářské praxi se počet pracovních cyklů, které je možné vykonat s daným počátečním tlakem v tlakové nádrži stanovuje experimentálně. Při zanedbání tření, objemu hadic a dalších spojovacích prvků, které jsou obsaženy v obvodu, však lze maximální počet zdvihů přibližně vyčíslit.

Jak bylo spočítáno v kapitole 5.5.1., nejmenší povolený pracovní tlak je $p_{MIN-I} = 420$ kPa. Cílem tedy je spočítat po kolika pracovních cyklech tlak poklesne pod tuto hodnotu, přičemž při vysouvání válce se podvozek zatahuje a zasouvání válce se podvozek vysunuje.

Dáno: objem nádrže (vzdušníku) $V_v = 704800 \text{ mm}^3$, maximální tlak v tlakové nádrži $p_{MAX-I} = 1000 \text{ kPa}$, $D_{P-I} = 10 \text{ mm}$, $d_{P-I} = 4 \text{ mm}$, $s_{P-I} = 62 \text{ mm}$

Objem válce bez pístitnice:

$$V_{B-I} = \frac{\pi \cdot D_{P-I}^2}{4} \cdot s_{P-I} = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} \cdot 62 \quad (18)$$

$$V_{B-I} = 4869,5 \text{ mm}^3$$

Pro 3 válce se $V_{B-I} = 14608,4 \text{ mm}^3$

Objem válce s pístitnicí:

$$V_{S-I} = \frac{\pi \cdot (D_{P-I}^2 - d_{P-I}^2)}{4} \cdot s_{P-I} = \frac{\pi \cdot (10^2 - 4^2)}{4} \cdot 62 \quad (19)$$

$$V_{S-I} = 4090,4 \text{ mm}^3$$

Pro 3 válce se $V_{S-I} = 12271,1 \text{ mm}^3$

Stavová rovnice plynu za konstantní teploty obecně:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2} \quad [\text{kPa}] \quad (20)$$

Výpočet prvního řádku tabulky (Tab. 3), tlak po pohybu vpřed:

$$p_{MAX-I} \cdot V_v = p_2 \cdot V_2$$

$$p_2 = \frac{p_{MAX-I} \cdot V_v}{V_2} = \frac{p_{MAX-I} \cdot V_v}{(V_v + V_{B-I})} = \frac{1000 \cdot 704800}{(704800 + 14608,4)} \quad (21)$$

$$p_2 = 979,69 \text{ kPa}$$

Výpočet prvního řádku tabulky (Tab. 3), tlak po pohybu vzad:

$$p_1 \cdot V_v = p_2 \cdot V_2$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_v}{V_2} = \frac{p_1 \cdot V_v}{(V_v + V_{S-I})} = \frac{979,69 \cdot 704800}{(704800 + 12271,1)} \quad (22)$$

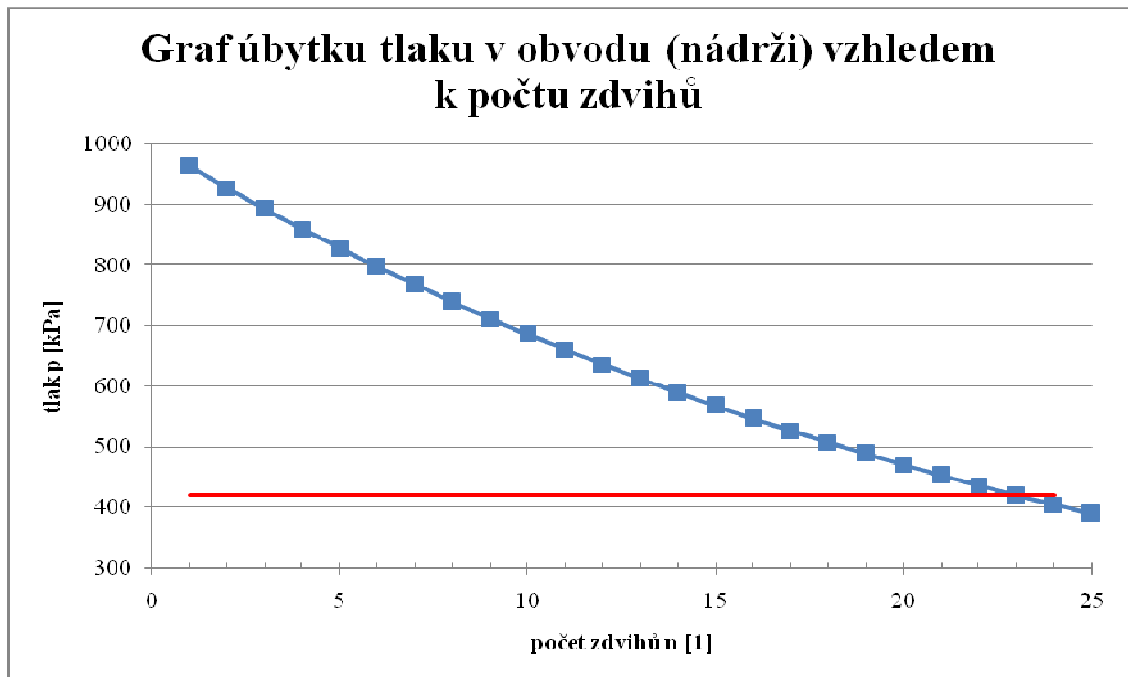
$$p_2 = 962,93 \text{ kPa}$$

Tabulka s vypočtenými hodnotami:

Tab. 3. Tabulka s vypočtenými hodnotami

počet zdvihů	tlak [kPa]	tlak po vysunutí válce [kPa]	tlak po zasunutí válce [kPa]
0	1000,00	979,69	962,93
1	962,93	943,38	927,23
2	927,23	908,40	892,86
3	892,86	874,73	859,76
4	859,76	842,30	827,89
5	827,89	811,07	797,19
6	797,19	781,01	767,64
7	767,64	752,05	739,18
8	739,18	724,17	711,78
9	711,78	697,33	685,39
10	685,39	671,48	659,99
11	659,99	646,58	635,52
12	635,52	622,61	611,96
13	611,96	599,53	589,27
14	589,27	577,31	567,43
15	567,43	555,91	546,39
16	546,39	535,30	526,14
17	526,14	515,45	506,63
18	506,63	496,35	487,85
19	487,85	477,95	469,77
20	469,77	460,23	452,35
21	452,35	443,17	435,58
22	435,58	426,74	419,43
23	419,43	410,92	403,89

Graf s vypočtenými hodnotami:



Obr. 57. Graf vypočtených hodnot počtu zdvihů

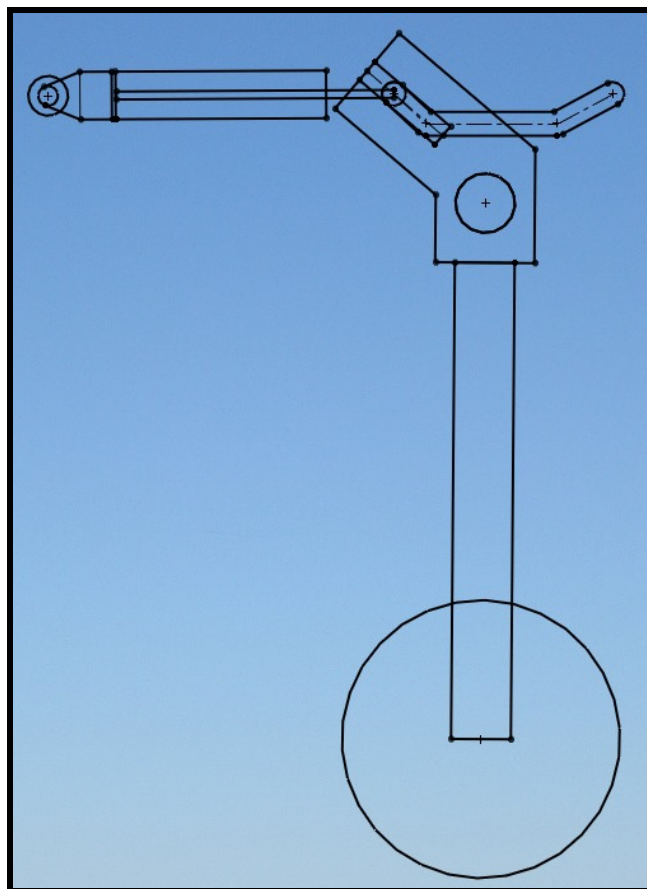
Výpočtem bylo zjištěno, že přibližný počet zdvihů na jedno naplnění nádrže, v obvodu se třemi válci je $n_I = 22$

6 KONSTRUKCE 2. VARIANTY

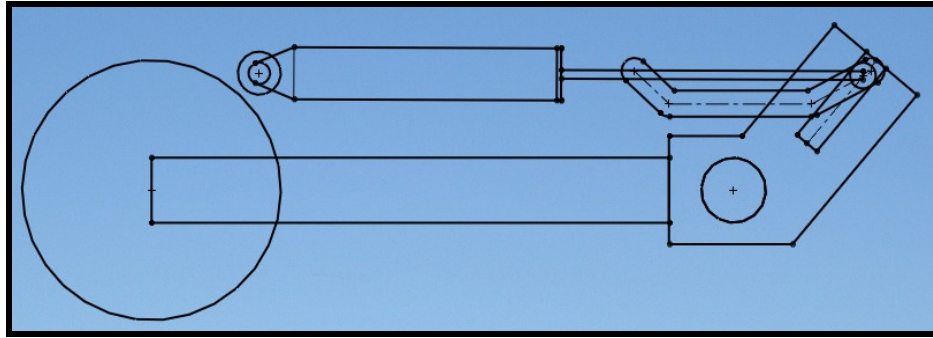
2. konstrukční varianta bude koncipována jako čistě účelová, tak aby splnila svůj účel bez většího zřetelu na modelovost. Bude nízkoprofilová (malá zástavbová výška konstrukce), takže je možná zástavba i do nízkých trupů, popř. křídel v případné instalaci podvozku jako hlavního. Zatáčení podvozku bude realizováno táhly připojenými k servomotoru, neboť se celá noha i s konzolou zatáčení podvozku bude zatahovat.

6.1 Rozvržení podvozku – schéma, návrh kinematického schématu

Podvozek se bude zatahovat směrem dozadu nebo dopředu (v závislosti na montáži do modelu). Vlastní zatahování a vytahování bude prováděno za pomoci dvojčinného pneumatického válce. Zatáčení bude realizováno za pomoci konzoly zatáčení umístěné přímo na noze podvozku. Zatahování podvozku bude prováděno přes kámen s drážkou a čepem, který bude veden drážkou v bočnici podvozku. Tím budou zaručeny koncové polohy zatažení/vytažení podvozku.



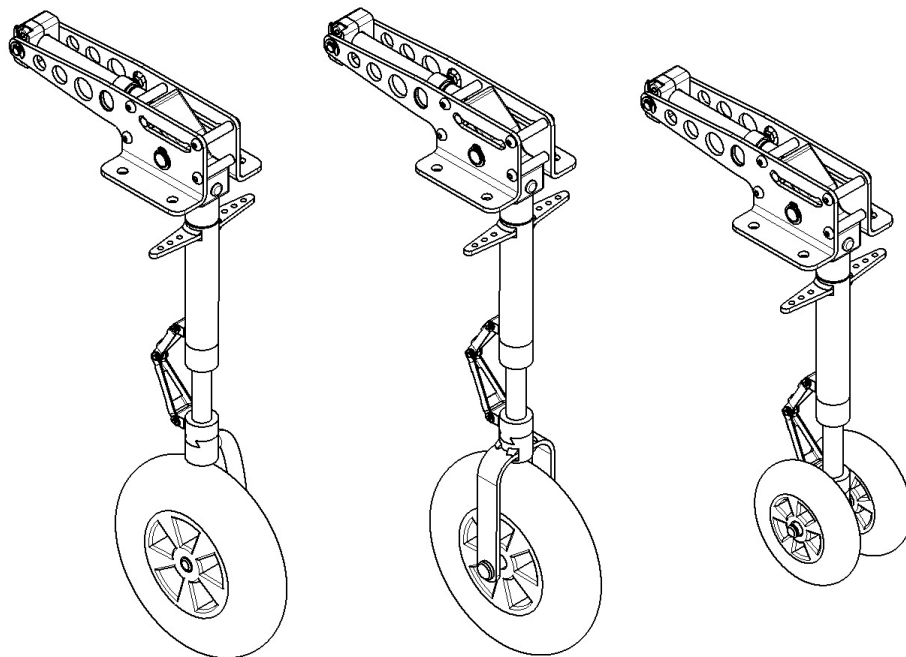
Obr. 58. Schéma podvozku ve vytažené poloze



Obr. 59. Schéma podvozku v zatažené poloze

6.2 Samotná konstrukce podvozku

Podvozek byl konstruován za pomoci programu Autodesk Inventor Professional 2009. Jako materiál byla použita především slitina hliníku DURAL a ocel 11600. Bližší specifikace materiálů jsou vypsány v kusovníku. Odpružení je zvoleno systémem tlačné pružiny, která je umístěna v dutém náboji podvozku. Uchycení kola podvozku (jakékoliv dostupné modelářské kolo ve vhodném měřítku) je řešeno jako vyměnitelné s různými nástavci, tím je umožněna výroba jedné verze podvozku s mnoha variantami vzhledu podvozku. Ložiska byla použita kluzná a to bronzová nebo polyamidová od firmy SKF. Pneumatický válec byl použit od firmy FESTO, kdy byl zvolen typ válce a pak měněn zdvih. Přesnější specifikace budou popsány dále. Montáž kola na podvozek je stejná jako u 1. varianty, viz kap. 5.2.

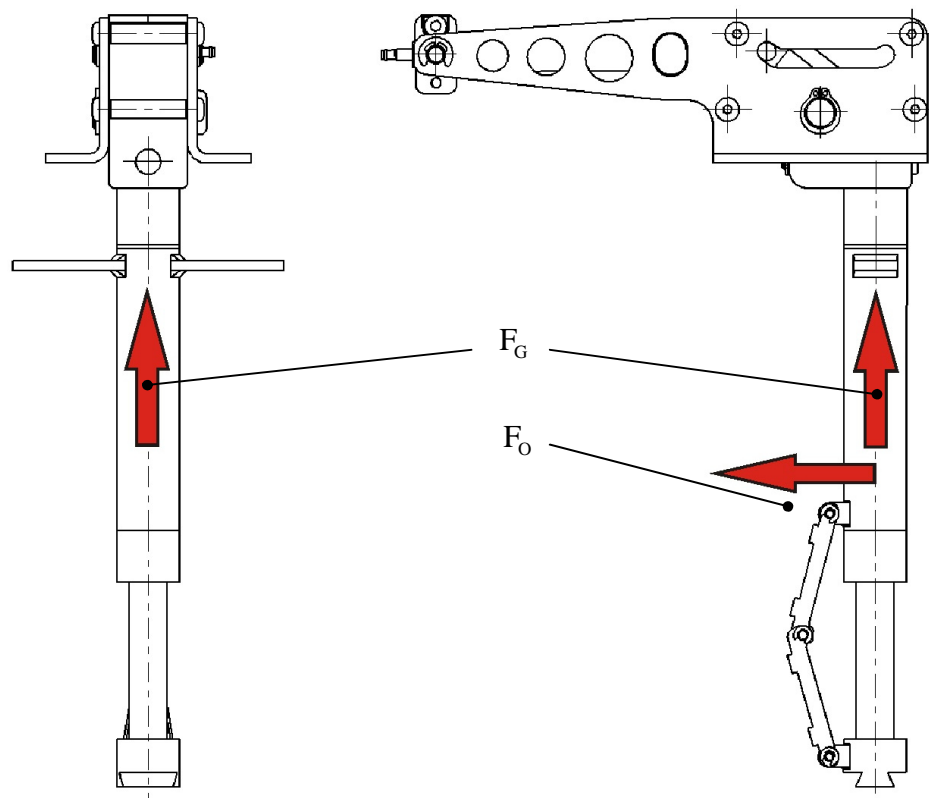


Obr. 60. Podvozek umožňuje použití 3 variant nástavců na kolo

Schéma silového rozložení

Legenda:

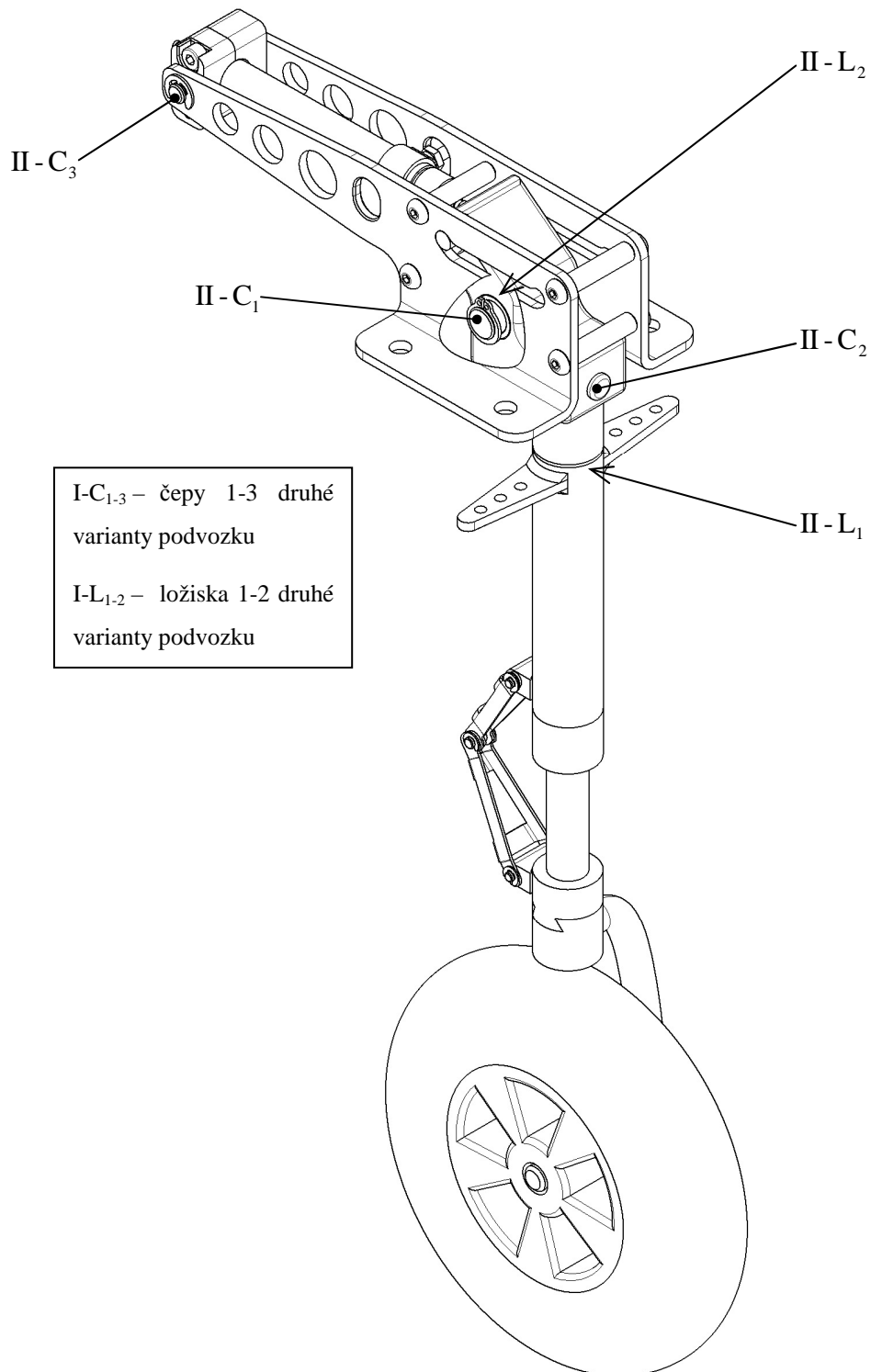
- $F_G = 392,4 \text{ N}$ – maximální síla vznikající při nárazu po pádu modelu
- $F_O = 1177,2 \text{ N}$ – síla, která může vzniknout při nárazu modelu do pevné překážky. Vychází z celkové hmotnosti modelu v okamžiku nárazu, při kterém dochází k přetížení 3g (přibližná rychlost 2,5m/s), kde je počítáno s deformační zónou 100mm (např. trup modelu). Tato hodnota je pro výpočet dostačující neboť při této síle již může dojít k rozsáhlejšímu poškození modelu, např. vytržení celého podvozku ze svého uchycení v modelu.



Obr. 61. Schéma silového rozložení

6.3 Pevnostní kontrola namáhaných částí

Tato kapitola se bude zabývat výpočty namáhaných částí dle přiloženého obrázku (Obr. 62) hotové konstrukce podvozku.



Obr. 62. Celkový pohled na konstrukci podvozku

6.3.1 Výpočty kluzných ložisek

Kluzná ložiska použitá v konstrukci jsem volil od firmy SKF. Ložiska budou kontrolována na měrný tlak ve stykových plochách.

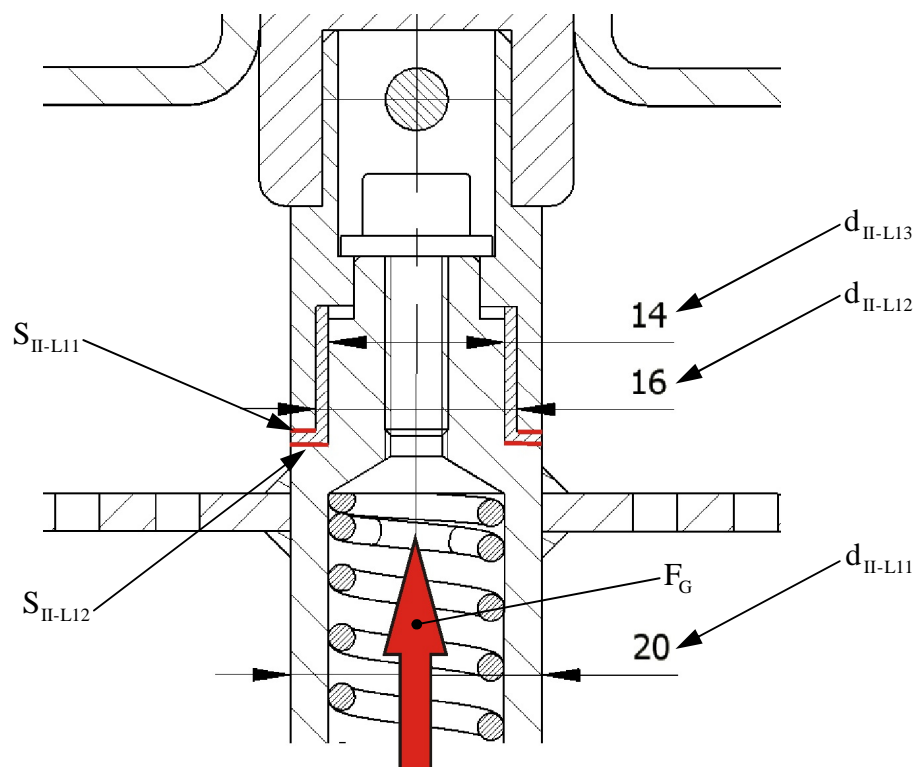
Ložisko II-L₁:

Vzhledem ke konstrukci jsem volil ložisko: SKF PPMF 141612 z materiálu PTFE – teflon. Výhody těchto ložisek jsou chod bez údržby, nízké náklady, odolnost vůči korozi.

Charakteristiky ložiska SKF PPMF 141612 (dle katalogu SKF):

Přípustné zatížení (dynamické/statické):	40/80	MPa
Přípustná kluzná rychlost:	1	m/s
Součinitel tření μ	0,06 ÷ 0,15	
Teplotní rozsah	-30 ÷ +110	°C

Výpočet:



Obr. 63. Umístění ložiska v konstrukci

Dáno: $F_G = 395 \text{ N}$

průměry ložiska $d_{II-L11} = 20 \text{ mm}$, $d_{II-L12} = 16 \text{ mm}$, $d_{II-L13} = 14 \text{ mm}$

dovolené zatížení $p_{D-II-L1} = 40 \text{ MPa}$

S_{II-L11} , S_{II-L12} plochy ložiska

Plocha S_{II-L11} :

$$S_{II-L11} = \left(\frac{\pi \cdot d_{II-L11}^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot d_{II-L12}^2}{4} \right) = \left(\frac{\pi \cdot 20^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot 16^2}{4} \right) \quad (23)$$

$$S_{II-L11} = 113,1 \text{ mm}^2$$

$$p_{II-L11} = \frac{F_G}{S_{II-L11}} = \frac{395}{113,1} \quad (24)$$

$$p_{II-L11} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$p_{II-L11} \leq p_{D-II-L1} \quad (25)$$

$$3,5 \leq 40$$

Plochu S_{II-L12} není nutno kontrolovat, neboť z obrázku (Obr. 63) vyplývá, že je plocha větší, tím pádem je zaručeno, že hodnota napětí p_{II-L12} nepřesáhne hodnotu $p_{D-II-L1}$.

Napětí p_{II-L11} a p_{II-L12} nepřesáhlo dovolenou hodnotu $p_{D-II-L1}$, tím pádem ložisko SKF PPMF 141612 vyhovuje.

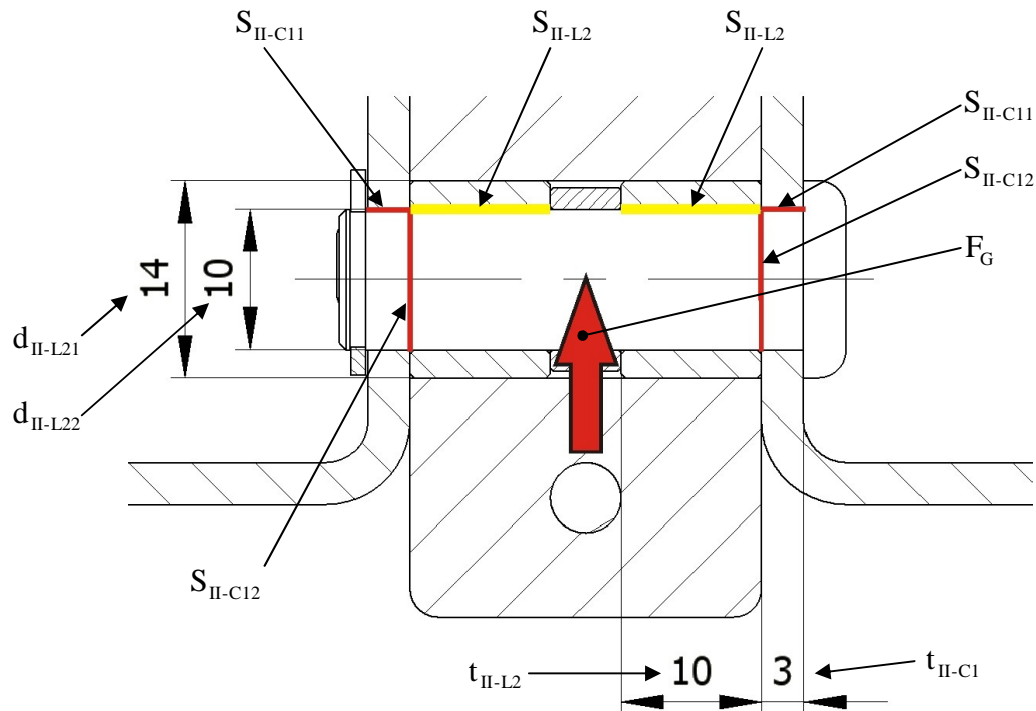
Ložisko II-L₂:

Vzhledem ke konstrukci jsem volil ložisko: SKF PSM 101410 z materiálu slinutý bronz. Výhody těchto ložisek jsou chod bez údržby, nízké tření, není nutno domazávat.

Charakteristiky ložiska SKF PSM 101410 (dle katalogu SKF):

Přípustné zatížení (dynamické/statické):	10/50	MPa
Přípustná kluzná rychlost:	10	m/s
Součinitel tření μ	0,05 ÷ 0,1	
Teplotní rozsah	-10 ÷ +100	°C

Výpočet:



Obr. 64. Umístění ložiska v konstrukci

Dáno: $F_G = 395 \text{ N}$

průměry ložiska a čepu $d_{II-L21} = 14 \text{ mm}$, $d_{II-L22} = 10 \text{ mm}$

délka ložiska $t_{II-L2} = 10 \text{ mm}$

dovolené zatížení ložiska $p_{D-II-L2} = 50 \text{ MPa}$

S_{II-L2} – plocha ložiska

$$p_{II-L2} = \frac{F_G}{S_{II-L2}} = \frac{F_G}{d_{II-L22} \cdot t_{II-L2}} = \frac{395}{10 \cdot 10} \quad (26)$$

$$p_{II-L2} = 1,975 \text{ MPa}$$

$$p_{II-L2} \leq p_{D-II-L2} \quad (27)$$

$$1,975 \leq 50$$

Napětí p_{II-L2} nepřesáhlo dovolenou hodnotu $p_{D-II-L2}$, tím pádem ložisko SKF PSM 101410 vyhovuje.

6.3.2 Výpočty čepů

Čepy budou kontrolovány na stříh a na otláčení. Všechny čepy v konstrukci jsou z materiálu 11 600 ($R_m = 650$ MPa, $\tau_D = 90$ MPa, $p_D = 90$ MPa).

Čepy, které nejsou v obrázku (Obr. 62) označeny počítány nebudou, neboť na ně působí zanedbatelné síly.

Čep II-C₁:

Umístění čepu v konstrukci, jeho rozměry a zatížení je znázorněno na obrázku (Obr. 64)

Čep bude kontrolován na stříh a na otláčení.

Dáno: $F_G = 395$ N

průměr čepu $d_{II-L22} = 10$ mm, délka čepu $t_{II-C1} = 3$ mm

dovolené zatížení čepu $p_{D-II-C1} = 90$ MPa, $\tau_{D-II-C1} = 90$ MPa

S_{II-C11} , S_{II-C12} – plochy čepu

$$\tau_{II-C1} = \frac{F_G}{S_{II-C12}} = \frac{F_G}{\frac{\pi \cdot d_{II-L22}^2}{4}} = \frac{395}{\frac{\pi \cdot 10^2}{4}} \quad (28)$$

$$\tau_{II-C1} = 2,5 \text{ MPa}$$

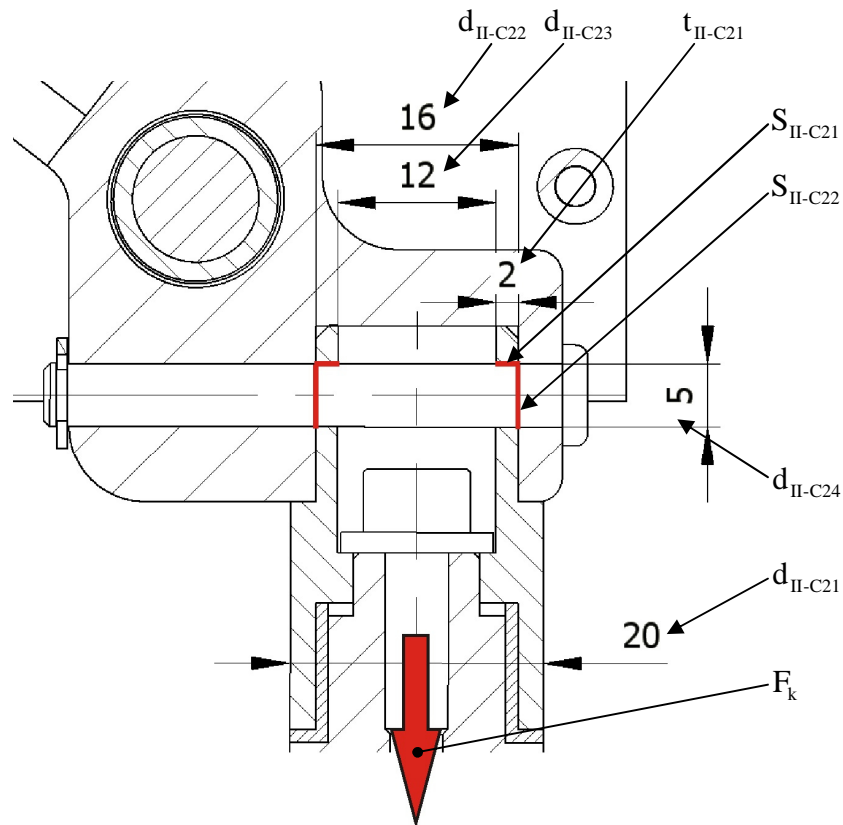
$$\begin{aligned} \tau_{II-C1} &\leq \tau_{D-II-C1} \\ 2,5 &\leq 90 \end{aligned} \quad (29)$$

$$p_{II-C1} = \frac{F_G}{S_{II-C11}} = \frac{F_G}{d_{II-L22} \cdot t_{II-C1}} = \frac{395}{10 \cdot 3} \quad (30)$$

$$p_{II-C1} = 6,58 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} p_{II-C1} &\leq p_{D-II-C1} \\ 6,58 &\leq 90 \end{aligned} \quad (31)$$

Tlakové napětí p_{II-C1} a smykové napětí τ_{II-C1} nepřesáhlo dovolenou hodnotu $p_{D-II-C1}$ a $\tau_{D-II-C1}$, tím pádem čep II-C₁ vyhovuje.

Čep II-C₂:

Obr. 65. Umístění čepu v konstrukci

Dáno: průměry nohy podvozku $d_{II-C21} = 20$ mm, $d_{II-C22} = 16$ mm, $d_{II-C23} = 12$ mm

průměr čepu $d_{II-C24} = 5$ mm, tloušťka stěny nohy podvozku $t_{II-C21} = 2$ mm

hmotnost spodní části nohy podvozku $m_k = 0,2$ kg

dovolená zatížení čepu $p_{D-II-C2} = 90$ MPa, $\tau_{D-II-C2} = 90$ MPa

$$\begin{aligned} F_k &= g \cdot m_k = 9,81 \cdot 0,2 \\ F_k &= 1,96 \text{ N} \end{aligned} \quad (32)$$

$$\tau_{II-C2} = \frac{F_k}{S_{II-C22}} = \frac{F_k}{\frac{\pi \cdot d_{II-C4}^2}{4}} = \frac{1,96}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} \quad (33)$$

$$\tau_{II-C2} = 0,05 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{II-C2} &\leq \tau_{D-II-C2} \\ 0,05 &\leq 90 \end{aligned} \quad (34)$$

$$p_{II-C2} = \frac{\frac{F_k}{2}}{S_{II-C21}} = \frac{\frac{F_k}{2}}{d_{II-C24} \cdot t_{II-C21}} = \frac{1,96}{5 \cdot 2} \quad (35)$$

$$p_{II-C2} = 0,098 \text{ MPa}$$

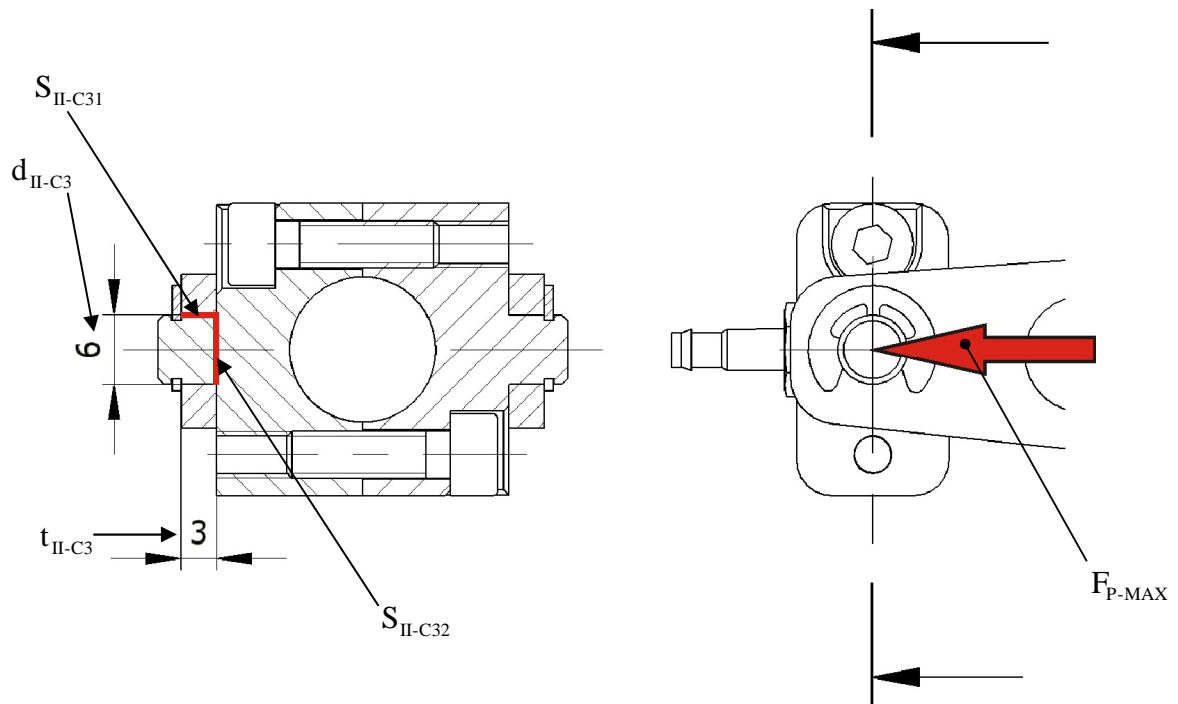
$$p_{II-C2} \leq p_{D-II-C2} \quad (36)$$

$$0,098 \leq 90$$

Tlakové napětí p_{II-C2} a smykové napětí τ_{II-C2} nepřesáhlo dovolenou hodnotu $p_{D-II-C2}$ a $\tau_{D-II-C2}$, tím pádem čep II-C₂ vyhovuje.

Čep II-C₃:

Síla F_{P-MAX} vychází z maximální síly, kterou může vyvinout píst při tlaku 1 MPa.



Obr. 66. Umístění čepu v konstrukci

Dáno: průměr válce $D_{II-P} = 10 \text{ mm}$, průměr čepu $d_{II-C3} = 6 \text{ mm}$

délkový rozměr $t_{II-C3} = 3 \text{ mm}$, maximální tlak v obvodu $p_{MAX} = 1000 \text{ kPa}$

dovolená zatížení $p_{D-II-C3} = 90 \text{ MPa}$, $\tau_{D-II-C3} = 90 \text{ MPa}$

$$F_{P-MAX} = S \cdot p_{MAX} = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot p_{MAX} = \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} \cdot 1000000 \quad (37)$$

$$F_{P-MAX} = 78,5 \text{ N}$$

$$\tau_{II-C3} = \frac{\frac{F_{P-MAX}}{2}}{S_{II-C32}} = \frac{\frac{F_{P-MAX}}{2}}{\frac{\pi \cdot d_{II-C3}^2}{4}} = \frac{78,5}{\frac{\pi \cdot 6^2}{4}} \quad (38)$$

$$\tau_{II-C3} = 1,4 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{II-C3} &\leq \tau_{D-II-C3} \\ 1,4 &\leq 90 \end{aligned} \quad (39)$$

$$p_{II-C3} = \frac{\frac{F_{P-MAX}}{2}}{S_{II-C31}} = \frac{\frac{F_{P-MAX}}{2}}{d_{II-C3} \cdot t_{II-C3}} = \frac{78,5}{6 \cdot 3} \quad (40)$$

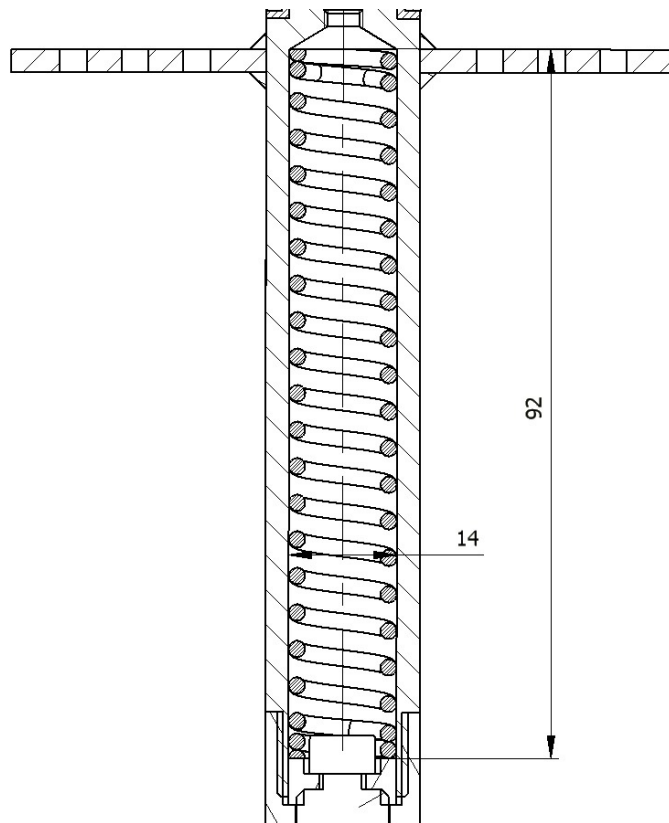
$$p_{II-C3} = 2,18 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} p_{II-C3} &\leq p_{D-II-C3} \\ 2,18 &\leq 90 \end{aligned} \quad (41)$$

Tlakové napětí p_{II-C3} a smykové napětí τ_{II-C3} nepřesáhlo dovolenou hodnotu $p_{D-II-C3}$ a $\tau_{D-II-C3}$, tím pádem čep II-C₃ vyhovuje.

6.4 Výpočet odpružení

Odpružení podvozku je realizováno tlačnou pružinou umístěnou v duté tyči podvozku. Výpočet pružiny odpružení byl prováděn za pomoci výpočtového modulu programu Autodesk Inventor Professional 2009, dle zadaných parametrů. Z výpočtu je vytvořena zpráva, která je uvedena v příloze č. 2.



Obr. 67. Umístění pružiny v konstrukci

Vstupní parametry pružiny, na základě kterých byl prováděn výpočet:

Délka v nezatíženém stavu $L_l = 92$ mm, pracovní zdvih $H = 40$ mm

Vnější průměr pružiny $D_l = 14$ mm, maximální zatížení $F_g = 250$ N

Pracovní síla $F_{PR} = 140$ N

Zatížení 140 N vychází z předpokladu, že hmotnost modelu vážícího 40 kg se rozloží mezi 3 podvozkové nohy, což je po zaokrouhlení 14 kg. Z této hmotnosti vychází zatížení 140 N. Maximální zatížení $F_g = 250$ N je voleno s ohledem na hmotnost modelu a na funkčnost pružiny jako pružícího prvku.

6.5 Návrh a výpočet pneumatického válce a pneumatického obvodu

Mechanismus zatahování a vytahování podvozku bude poháněn pneumatickým válcem. Už během konstrukce podvozku byl předběžně zvolen pneumatický válec firmy FESTO DSNU (splňuje požadavky normy ISO 6432) s průměrem válce $D_{P-II} = 10$ mm a to pro jeho vhodné parametry jako max. síla válce F_{P-II} (závisí na průměru D_{P-II}), vhodná zástavbová velikost, vhodná hmotnost, vhodné provozní podmínky. Vzhledem ke konstrukci mechanismu podvozku byl měněn pouze zdvih válce, který byl nakonec stanoven na $s_{II-P} = 40$ mm. Proto byl do konstrukce nakonec zvolen typ válce **FESTO 193987 DSNU-10-40-P-MA** s parametry:

Tab. 4. Parametry válce FESTO 193987 DSNU-10-40-P-MA

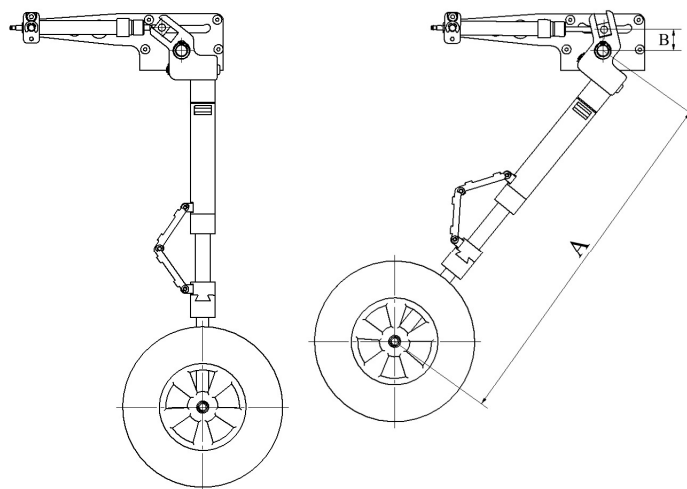
FESTO 193987 DSNU-10-40-P-MA	
Provozní podmínky	
provozní médium	filtrovaný stlačený vzduch, mazaný nebo nemazaný
provozní tlak	1,5 ÷ 10 [bar]
Síly [N]	
teoretická síla při 600 kPa, vysunutí válce	47
teoretická síla při 600 kPa, zasunutí válce	40
Hmotnost [g]	
hmotnost válce (válec + pístnice)	48,1

6.5.1 Stanovení nejmenšího pracovního tlaku válce:

Největší sílu musí válec vyvinout při pohybu vpřed, kdy je podvozek zatahován. Nejmenší pracovní tlak v pneumatickém okruhu modelu bude tedy vycházet ze síly, které je nutná pro zavření podvozku, neboť při vytahování pomáhá vytažení hmotnost nohy.

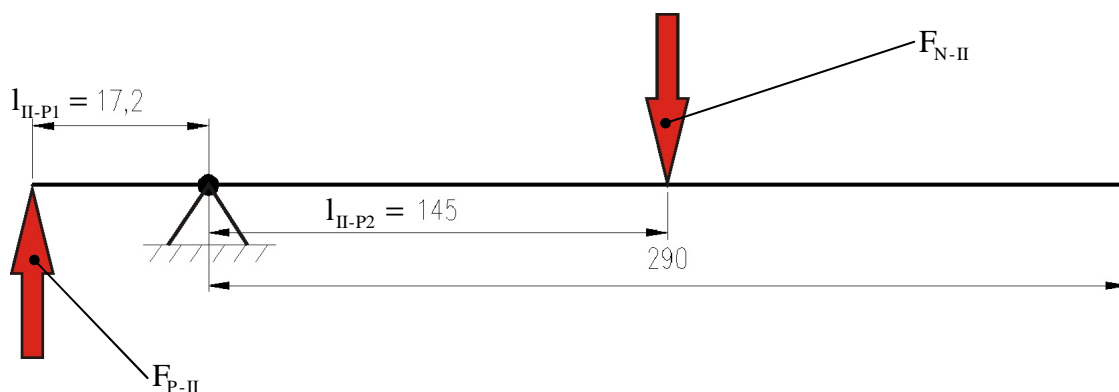
Válec bude působit na nohu podvozku přes páku, jak je znázorněno na obrázku (Obr. 67) Výpočet tedy bude prováděn podle zjednodušeného schématu dle obrázku (Obr. 68), kde F_{P-II} je síla, která musí být vyvozena válcem, a síla F_{N-II} , což je síla vyvozena hmotností sestavy nohy podvozku m_{N-II} , působící v těžišti. Poloha těžiště byla přibližně odhadnuta a je vztažena pro nejvyšší variantu podvozku (nádstavce) a pro vysunutou polohu pístu odpru-

žení. Délka ramene k uložení válce je nejmenší možná, neboť se s pohybem podvozku mění.



Obr. 68. Schéma umístění válce

$A = 290 \text{ mm}$, $B = 17,2 \text{ mm}$



Obr. 69. Zjednodušený obrázek rozložení a působení sil

Dáno: hmotnost nohy podvozku $m_{N-II} = 0,4 \text{ kg}$

délkové rozměry $l_{II-P1} = 17,2 \text{ mm}$, $l_{II-P2} = 145 \text{ mm}$

F_{P-II} síla válce, F_{N-II} síla vznikající působením hmotnosti nohy podvozku

$$\begin{aligned} F_{N-II} &= m_{N-II} \cdot g = 0,4 \cdot 9,81 \\ F_{N-II} &\doteq 3,92 \text{ N} \end{aligned} \quad (42)$$

$$\begin{aligned} F_{P-II} \cdot l_{II-P1} &= F_{N-II} \cdot l_{II-P2} \\ F_{P-II} &= \frac{F_{N-II} \cdot l_{II-P2}}{l_{II-P1}} = \frac{3,92 \cdot 145}{17,2} \\ F_{P-II} &= 33 \text{ N} \end{aligned} \quad (43)$$

Síla, kterou musí píst vyvinout $F_{P-II} = 33$ N, proto bude proveden výpočet nejmenšího možného tlaku v obvodu vztažen k této hodnotě.

Dáno: $F_{P-II} = 33$ N, $D_{P-II} = 10$ mm

$$F_{P-II} = S_{P-II} \cdot p_{MIN-II}$$

$$p_{MIN-II} = \frac{F_{P-II}}{S_{P-II}} = \frac{F_{P-II}}{\frac{\pi \cdot D_{P-II}^2}{4}} = \frac{33}{\frac{\pi \cdot 0,01^2}{4}} \quad (44)$$

$$p_{MIN-II} = 420,2 \text{ kPa}$$

Hodnota tlaku $p_{MIN-II} = 420,2$ kPa musí být upravena koeficientem bezpečnosti $k_b = 1,5$ ve kterém jsou obsaženy ztráty způsobené třením v součástech a únikem tlakového vzduchu, proto byl nejmenší pracovní tlak v obvodu stanoven na hodnotu $p_{MIN-II} = 630$ kPa

6.5.2 Návrh pneumatického obvodu:

Navrhovaný pneumatický obvod v RC modelu bude vyhrazen pouze pro zatahování a vytahování podvozku, vzhledem ke spotřebě vzduchu a bezpečnosti. Obvod bude navrhován pro 3 kolový podvozek, tzn. použití 3 pneumatických válců a s ohledem na to, že bude umístěn v RC modelu, proto zde budou chybět určité prvky obvodu, které se do běžných obvodů zařazují (filtry, maznice, tlumiče hluku, atd.). Obvod se bude skládat z následujících částí:

- tlaková nádrž – firma ROBART. Large Pressure Tank, Part # 192
- mechanicky ovládaný 5/2 vzduchový ventil – firma ROBART, Variable Rate Control Valve, Part # 167VR
- pneumatický válec - FESTO 193987 DSNU-10-40-P-MA
- jednosměrné škrťící ventily – obsaženy přímo v konstrukci 5/2 vzduchového ventilu
- pneumatické hadice a spojky – firma ROBART
- manometr – firma SMC – G15-10-01

Pracovní tlak v obvodu bude mít hodnoty $p_{II} = 630 \text{ kPa} \div 1 \text{ MPa}$ (max. možný tlak v uvažované tlakové nádrži). Pneumatický válec je použit od firmy FESTO, ostatní komponenty jsou od firmy ROBART, které vyrábí pneumatické komponenty přímo pro RC modely

kromě manometru, který je použit od firmy SMC. Pneumatické schéma je stejné jako u 1. varianty podvozku a je uvedeno v obrázku (Obr. 56).

6.5.3 Výpočet přibližného počtu zdvihů n_{II} pro 3 válce

Tlak v tlakové nádrži se s každým pracovním cyklem postupně snižuje. V modelářské praxi se počet pracovních cyklů, které je možné vykonat s daným počátečním tlakem v tlakové nádrži stanovuje experimentálně. Při zanedbání tření, objemu hadic a dalších spojovacích prvků, které jsou obsaženy v obvodu, však lze maximální počet zdvihů přibližně vyčíslit.

Jak bylo spočítáno v kapitole 6.5.1., nejmenší povolený pracovní tlak je $p_{MIN-I} = 630$ kPa. Cílem tedy je spočítat po kolika pracovních cyklech tlak poklesne pod tuto hodnotu, přičemž při vysouvání válce se podvozek zatahuje a zasouvání válce se podvozek vysunuje.

Dáno: objem nádrže (vzdušníku) $V_v = 704800$ mm³, $p_{MAX-II} = 1000$ kPa,
 $D_{P-II} = 10$ mm, $d_{P-II} = 4$ mm, $s_{P-II} = 40$ mm

Objem válce bez pístnice:

$$V_{B-II} = \frac{\pi \cdot D_{P-II}^2}{4} \cdot s_{P-II} = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} \cdot 40 \quad (45)$$

$$V_{B-II} = 3141,6 \text{ mm}^3$$

Pro 3 válce se $V_{B-II} = 9424,8$ mm³

Objem válce s pístnicí:

$$V_{S-II} = \frac{\pi \cdot (D_{P-II}^2 - d_{P-II}^2)}{4} \cdot s_{P-II} = \frac{\pi \cdot (10^2 - 4^2)}{4} \cdot 40 \quad (46)$$

$$V_{S-II} = 2638,9 \text{ mm}^3$$

Pro 3 válce se $V_{S-II} = 7916,8$ mm³

Stavová rovnice plynu za konstantní teploty obecně:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2} \text{ [kPa]} \quad (47)$$

Výpočet prvního řádku tabulka (Tab. 7), tlak po pohybu vpřed:

$$\begin{aligned}
 p_{MAX-II} \cdot V_V &= p_2 \cdot V_2 \\
 p_2 &= \frac{p_{MAX-II} \cdot V_V}{V_2} = \frac{p_{MAX-II} \cdot V_V}{(V_V + V_{B-II})} = \frac{1000 \cdot 704800}{(704800 + 9424,8)} \\
 p_2 &= 986,8 \text{ kPa}
 \end{aligned}
 \tag{48}$$

Výpočet prvního řádku tabulky (Tab. 7), tlak po pohybu vzad:

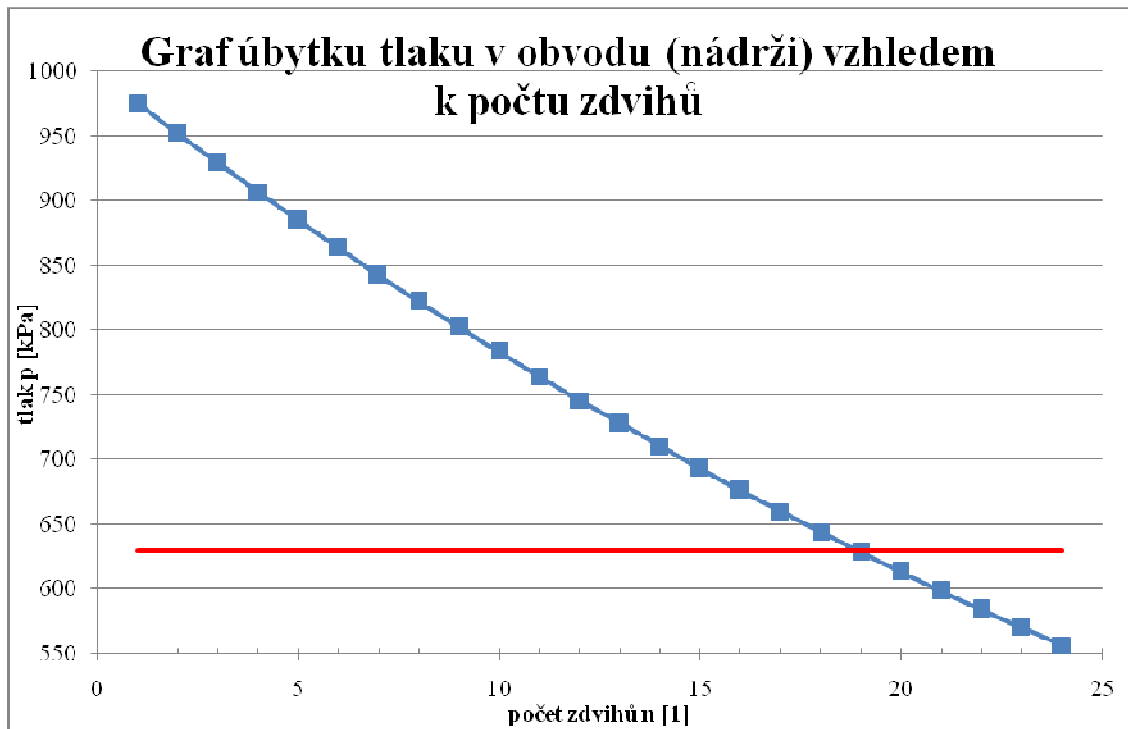
$$\begin{aligned}
 p_1 \cdot V_V &= p_2 \cdot V_2 \\
 p_2 &= \frac{p_1 \cdot V_V}{V_2} = \frac{p_1 \cdot V_V}{(V_V + V_{S-II})} = \frac{979,69 \cdot 704800}{(704800 + 7916,8)} \\
 p_2 &= 975,8 \text{ kPa}
 \end{aligned}
 \tag{49}$$

Tabulka s vypočtenými hodnotami:

Tab. 5. Tabulka s vypočtenými hodnotami

počet zdvihů	tlak [kPa]	tlak po vysunutí válce [kPa]	tlak po zasunutí válce [kPa]
0	1000,00	986,80	975,84
1	975,84	962,97	952,27
2	952,27	939,70	929,27
3	929,27	917,00	906,82
4	906,82	894,85	884,91
5	884,91	873,23	863,53
6	863,53	852,14	842,67
7	842,67	831,55	822,32
8	822,32	811,47	802,45
9	802,45	791,86	783,07
10	783,07	772,73	764,15
11	764,15	754,07	745,69
12	745,69	735,85	727,68
13	727,68	718,07	710,10
14	710,10	700,73	692,94
15	692,94	683,80	676,20
16	676,20	667,28	659,87
17	659,87	651,16	643,93
18	643,93	635,43	628,37
19	628,37	620,08	613,19

Graf s vypočtenými hodnotami:



Obr. 70. Graf vypočtených hodnot počtu zdvihů

Výpočtem bylo zjištěno, že počet zdvihů na jedno naplnění nádrže, v obvodu se třemi válci je $n_{II} = 18$

7 POROVNÁNÍ A ZHODNOCENÍ NAVRHOVANÝCH ŘEŠENÍ

Obě navrhované varianty se dají s úspěchem použít v RC modelu, do hmotnosti 40 kg. Každá z variant má ovšem své výhody i nevýhody, které budou v této kapitole porovnány a zhodnoceny.

Výhody 1. varianty:

- větší modelovost navrženého řešení – konstrukce odpovídá reálným podvozkům
- snadná instalace servomotoru zatáčení příďového kola – konzolka ovládání se nepohybuje při zatahování podvozku
- velký zdvih odpružení – $h_I = 50$ mm
- možnost montáže se zatahováním dopředu i dozadu ve směru letu
- menší minimální tlak v pneumatickém obvodu
- větší přibližný počet zdvihů n_I na jedno naplnění tlakové nádrže, při použití třech stejných válců

Nevýhody 1. varianty:

- velká montážní výška podvozku – 110 mm
- větší hmotnost konstrukce – v rozmezí $m_I = 725$ g - 825 g v závislosti na použitém nastavci pro montáž kola

Výhody 2. varianty:

- malá montážní výška – 50 mm
- menší hmotnost konstrukce – v rozmezí $m_{II} = 500$ g - 600 g v závislosti na použitém nastavci pro montáž kola
- celková jednoduchost konstrukce s malým počtem dílů
- možnost snadné výměny podvozkové nohy v případě potřeby
- možnost montáže se zatahováním dopředu i dozadu ve směru letu

Nevýhody 2. varianty:

- konstrukce splňuje pouze částečně modelovost – vzhled není příbuzný s konstrukcí podvozku u reálných letadel

- větší minimální tlak v pneumatickém obvodu
- složitější instalace servomotoru zatáčení příďového kola – konzola zatáčení se pohybuje spolu s podvozkovou nohou při zatahování a vytahování, tím pádem se servomotor musí připojit přes pružná táhla
- menší přibližný počet zdvihů n_{II} na jedno naplnění tlakové nádrže, při použití třech stejných válců

Porovnání obou variant:

Z hlediska hmotnosti se jako výhodnější jeví 2. varianta, neboť maximální hmotnost se u této varianty pohybuje okolo $m_I = 600\text{g}$, při stejné odolnosti vůči zatížení, než 1. varianta. Obecně je však hmotnost obou variant do 1kg plně vyhovující a při použití např. 3 těchto podvozků (příďový, 2 hlavní) by hmotnost byla okolo 3 kg, což dává velkou hmotnostní rezervu na ostatní části modelu.

Z hlediska jednoduchosti montáže a údržby se jeví také 2. varianta, neboť je pro svůj nízký montážní profil snáze instalovatelná do modelu a to i v místech, kde by se 1. varianta neda-la nainstalovat vůbec (např. křídlo). Navíc 2. varianta obsahuje méně součástí a dá se také snadno vyměnit podvozková noha, např. za neřiditelnou a tím pádem se dá tato varianta použít i jako hlavní podvozek. 1. varianta sice také, ale s určitými ústupky, neboť byla primárně navrhována jako příďový podvozek.

Z hlediska volby pneumatického válce, respektive pneumatického obvodu, jsou obě varianty srovnatelné. Průměr válce je u obou variant stejný a to $D = 10\text{ mm}$, mění se pouze zdvih válců, kde u 1. varianty je zdvih $s_{I-P} = 62\text{ mm}$, a u 2. varianty $s_{II-P} = 40\text{ mm}$. Přibližný počet zdvihů vyšel u 1. varianty $n_I = 22$ a u 2. varianty $n_{II} = 18$, tím pádem je z tohoto hlediska výhodnější 1. varianta. Další rozdíl obou variant je v minimálním tlaku v pneumatickém obvodě, který činí u 1. varianty $p_{MIN-I} = 420\text{ kPa}$, a u 2. varianty $p_{MIN-II} = 630\text{ kPa}$. Samotné pneumatické obvody jsou u obou variant totožné.

Z hlediska modelovosti řešení je jednoznačně lepší 1. varianta, neboť zde bylo dosaženo přímé podobnosti s podvozkou u reálných letadel. Navíc použití vzpěr zlepšilo nejen vzhled, ale i odolnost konstrukce.

Z hlediska jednoduchosti montáže servomotoru zatáčení, se jako lepší jeví 1. varianta, neboť zde může být servomotor spojen s konzolou zatáčení klasicky pevným táhlem, protože

se konzola zatáčení nepohybuje a zůstává pořád ve stejné poloze. U 2. varianty je nutno použít pružné spojení servomotoru s konzolou zatáčení.

Z hlediska odpružení má výhodu 1. varianta podvozku, neboť zdvih odpružení je $h_I = 50$ mm. 2. varianta má vzhledem ke konstrukci a návrhu pružiny zdvih pouze $h_{II} = 40$ mm.

8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout zatahovací podvozek pro RC modely do hmotnosti 40 kg. Byly navrženy dvě varianty podvozku. Každá z variant má své výhody i nevýhody. Dají se ovšem použít obě varianty, záleží na modeláři, jakou variantu zvolí, respektive jaká varianta bude více vyhovovat potřebám modeláře. V první části práce, byla vypracována teoretická část, která je věnována RC modelům jako takovým, podvozkům, které se používají v RC modelech a pneumatickým pohonům. Praktická část byla věnována vlastní konstrukci a výpočtům. V závěru práce byly zhodnoceny výhody a nevýhody obou variant a zároveň byly obě varianty mezi sebou porovnány. To může sloužit, jako vodítko při rozhodování modeláře jakou variantu ve svém modelu použije. Při konstrukci bylo čerpáno z vlastních zkušeností a z již hotových podvozků ostatních firem, které byly ve formě obrázků dostupné na internetu. Celá konstrukce byla prováděna za pomoci programu CAD Autodesk Inventor Professional 2009.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kolektiv autorů. Úvod do pneumatiky. Praha: FESTO Didactic., 1994. ISBN: 80-01-00042-7
- [2] KADLEC, Přemysl. *www.tomasrc.cz* [online]. 2008 [cit. 2009-01-01]. Dostupný z WWW: <http://www.tomasrc.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=201&Itemid=160>.
- [3] KOLMAN, Libor. *KOLMANL.INFO : letadla - létání - letecké modely – fotografie* [online]. [2003] [cit.2009-01-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.kolmanl.info/>>.
- [4] Kolektiv autorů. SMC Training : Stlačený vzduch a jeho využití. [s.l.] : [s.n.], [2007]. Dostupný z WWW: <http://217.19.37.249/cz/pdf/LG1_Antriebe.pdf>. Pneumatické lineární pohony, s. 119-135.
- [5] Festo AG & Co. KG . *FESTO : Průmyslová a procesní automatizace* [online]. 2009 [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.festo.cz>>.
- [6] Kolektiv autorů. SMC Training : Stlačený vzduch a jeho využití. [s.l.] : [s.n.], [2007]. Dostupný z WWW: <http://217.19.37.249/cz/pdf/LG1_Ventile.pdf>. Ventily, s. 83-117.
- [7] Hobbico. *Futaba® Radio Control (RC - R/C) Systems and Accessories* [online]. c1996-2009 [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.futaba-rc.com>>.
- [8] CW Action Hobbies. *CW Action Hobbies* [online]. c2008 [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<https://www.cwactionhobbies.com>>.
- [9] STRONG, Bill. *Black Widow AV : Wireless aerial video solutions* [online]. [1999] [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.blackwidowav.com/index.html>>.
- [10] MEJZLIK MODELLBAU. *MEJZLIK MODELLBAU : Czech Republic* [online]. [2006] [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mejzlikmodellbau.com/>>.
- [11] Hobby E-shop. *Hobby E-shop : RC modely pro radost* [online]. [2004] [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.hobbyeshop.cz>>.

- [12] RCM Pelikán. *RCM Pelikán* [online]. [2008] [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.rcm-pelikan.cz>>.
- [13] MVVS, spol.s.r.o. *MVVS : Model engines* [online]. 2001 [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mvvs.cz>>.
- [14] JetCat USA. *JetCat USA* [online]. c2007 [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.jetcatusa.com>>.
- [15] E-works.cz. *MODEL MOTORS s.r.o. : modelářské motory AXI, MiniAC, VM* [online]. c2006 [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.modelmotors.cz>>.
- [16] KNUT, Peter. *Gašparín CO2 Motory* [online]. c2003-2007 [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.gasparin.cz>>.
- [17] ADÁMEK, Jiří. *Jirka \"Adams\" Adámek : LMK Zdice* [online]. [2006] [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.aacomp.eu>>.
- [18] Hobby Lobby International. *Hobby Lobby* [online]. c1996-2008 [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.hobby-lobby.com>>.
- [19] Sonic Electric Model. *Sonic Electric* [online]. c2007 [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.sonicelectric.com>>.
- [20] THACKER, Dave. *Orbit Specialty Items, Radical RC* [online]. [2007] [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.radicalrc.com>>.
- [21] Robart Mfg.. *Robart Mfg. R-C Model Airplane Parts* [online]. [2002] [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.robart.com>>.
- [22] MyHobbyStore Ltd. *Model Flying* [online]. [2001] [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.modelflying.co.uk>>.
- [23] RaidenTech.com. *RaidenTech* [online]. [2005] [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.raidentech.com>>.
- [24] HUF, Harald. *SU-27 Projekt* [online]. [2005] [cit. 2009-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.su27.de>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CO_2	oxid uhličitý	
d	označení průměru	[mm]
D_1	vnější průměr pružiny	[mm]
D_P	průměr pístu	[mm]
d_P	průměr pístnice	[mm]
F_8	maximální zatížení pružiny	[N]
FAI	(Federation Aéronautique Internationale) – mezinárodní letecká federace	
F_G	maximální síla vznikající při nárazu po pádu modelu na 1 podvozkovou nohu	[N]
F_O	síla, která může vzniknout při nárazu modelu do pevné překážky	[N]
F_p	síla vyvozená pneumatickým válce	[N]
F_{PR}	pracovní síla pružiny	[N]
F_V	výslednice sil	[N]
g	tíhové zrychlení	[m·s ⁻¹]
H	pracovní zdvih pružiny	[mm]
I-C	označení čepu u 1. varianty podvozku	
I-L	označení ložiska u 1. varianty podvozku	
k_b	koeficient bezpečnosti	[1]
l	označení délky	[mm]
L_1	délka pružiny v nezatíženém stavu	[mm]
LCD	(liquid crystal display) – displej na bázi tekutých krystalů	
m_N	hmotnost nohy podvozku	[kg]
n	počet zdvihů	[1]

p	měrný tlak	[MPa]
p_D	maximální dovolený měrný tlak	[MPa]
p_I	pracovní tlak v pneumatickém obvodu 1. varianty podvozku	[kPa]
p_{II}	pracovní tlak v pneumatickém obvodu 2. varianty podvozku	[kPa]
p_{MAX}	maximální tlak v pneumatickém obvodu	[kPa]
p_{MIN}	minimální tlak v pneumatickém obvodu	[kPa]
PTFE	Polytetrafluoretylen - teflon	
p_v	tlak vzduchu ve válci	[Pa]
RC	(radio kontrol) – rádiem řízený	
R_m	mez kluzu	[MPa]
S	označení plochy	[mm ²]
S_p	plocha pístu	[mm ²]
s_P	zdvih pístu	[mm]
t	označení tloušťky	[mm]
V_B	objem válce bez pístnice	[mm ³]
V_S	objem válce s pístnicí	[mm ³]
V_V	objem nádrže (vzdušníku)	[mm ³]
ε_k	kompresní poměr	[1]
τ	napětí ve střihu	[MPa]
τ_D	maximální dovolené napětí ve střihu	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Příklad RC vysílače Futaba [7].....	10
Obr. 2. Příklad RC modelu letadla [8].....	10
Obr. 3. Kamery používané k přenosu obrazu z modelů [9].....	12
Obr. 4. Vysílače používané pro přenos obrazu z kamer umístěných na modelu [9].....	13
Obr. 5. Schéma vysílač (transmitter) – přijímač (receiver).....	13
Obr. 6. Servomotor ovládní modelu [7].....	14
Obr. 7. Dělení modelů dle přesnosti provedení	15
Obr. 8. Ukázka třílisté a dvoulisté kompozitové vrtule firmy MEJZLIK [10].....	16
Obr. 9. Modelářské dmýchadlo firmy Fantex [11]	17
Obr. 10. Příklad jednoduchého volně létajícího modelu na gumový pohon firmy Pelikán [12]	18
Obr. 11. Modelářský spalovací dvouválcový motor české firmy MVVS [13].....	19
Obr. 12. Modelářský proudový motor P-70 firmy JetCat [14]	20
Obr. 13. Příklad modelářského turbovrtulového motoru firmy JetCat [14]	20
Obr. 14. Bezkomutátorový střídavý elektromotor české firmy AXI [15].....	21
Obr. 15. Modelářský CO ₂ motor firmy Gašparín – čtyřválcový [16]	22
Obr. 16. Modelářský CO ₂ motor firmy Gašparín – dvanáctiválcový V [16].....	22
Obr. 17. Akrobatický model s pevným podvozkem [12].....	25
Obr. 18. Rozdělení podvozku dle montáže a dle možnosti zatáčení	26
Obr. 19. RC model letounu Let L-410 se zatahovatelným podvozkem příďového typu [17]	27
Obr. 20. RC model s podvozkem ostruhového typu [12]	27
Obr. 21. Schéma typů ovládní zatahovacích podvozků	29
Obr. 22. Zatahovací podvozky pro malé modely ovládné servomotorem přes táhlo [18]	29
Obr. 23. Zatahovací podvozky pro malé a střední modely ovládné elektromotorem zabudovaným přímo v tělese podvozku. [19].....	30
Obr. 24. Modelářské elektromagnetické pneumatické ventily firmy Orbit [20].....	30
Obr. 25. Modelářsky pneumaticky mechanicky ovládný 5/2 ventil firmy Robart [21]	31
Obr. 26. Varianty zapojení pneumatického ovládní podvozku.....	31
Obr. 27. Příklad zapojení podvozku ovládného hydraulickými válci [22]	33

Obr. 28. Kotoučové hydraulické brzdy používané v RC modelech závodních aut se velmi často používají i v leteckých RC modelech [17].....	34
Obr. 29. Systém tlumení rázů u podvozku z ohnutého drátu [23].....	35
Obr. 30. Systém odpružení, kde je tlačná pružina umístěná v duté trubce nohy podvozku [24]	36
Obr. 31. Rozdělení pneumatických pohonů.....	37
Obr. 32. Rozdělení pneumatických jednočinných motorů.....	38
Obr. 33. Jednočinný pneumatický válec s pístnicí v klidové poloze zasunutou [4]	38
Obr. 34. Jednočinný pneumatický válec s pístnicí v klidové poloze vysunutou [4].....	39
Obr. 35. Řez jednočinným pneumatickým válcem [1]	39
Obr. 36. Membránový motor [1].....	40
Obr. 37. Fluidní sval firmy FESTO [5].....	41
Obr. 38. Dvočinný pístový motor [1].....	41
Obr. 39. Dvočinný pístový motor s tlumením v koncových polohách [1].....	42
Obr. 40. Dvočinný pneumatický válec s průchozí pístnicí [4]	42
Obr. 41. Pneumatický válec bez pístnice s mechanickým spojením pístu s jezdcem [4]	43
Obr. 42. Přehled rozdělení ventilů podle funkce [6].....	44
Obr. 43. Schéma podvozku ve vytažené poloze	49
Obr. 44. Schéma podvozku v zatažené poloze	50
Obr. 45. Podvozek umožňuje použití 3 nástavců na kolo.....	51
Obr. 46. Schéma montáže kola na podvozek.....	51
Obr. 47. Schéma silového rozložení	52
Obr. 48. Celkový pohled na konstrukci podvozku	53
Obr. 49. Umístění ložiska v konstrukci	54
Obr. 50. Umístění ložiska v konstrukci	56
Obr. 51. Umístění čepu I-C ₂ v konstrukci.....	58
Obr. 52. Schéma silového zatížení čepu I-C ₂	58
Obr. 53. Umístění pružiny v konstrukci.....	60
Obr. 54. Schéma umístění válce	62
Obr. 55. Zjednodušený obrázek rozložení a působení sil	62
Obr. 56. Schéma pneumatického obvodu	64
Obr. 57. Graf vypočtených hodnot počtu zdvihů.....	67

Obr. 58. Schéma podvozku ve vytažené poloze	68
Obr. 59. Schéma podvozku v zatažené poloze	69
Obr. 60. Podvozek umožňuje použití 3 variant nastavců na kolo.....	69
Obr. 61. Schéma silového rozložení	70
Obr. 62. Celkový pohled na konstrukci podvozku	71
Obr. 63. Umístění ložiska v konstrukci	72
Obr. 64. Umístění ložiska v konstrukci	74
Obr. 65. Umístění čepu v konstrukci	76
Obr. 66. Umístění čepu v konstrukci	77
Obr. 67. Umístění pružiny v konstrukci.....	79
Obr. 68. Schéma umístění válce	81
Obr. 69. Zjednodušený obrázek rozložení a působení sil	81
Obr. 70. Graf vypočtených hodnot počtu zdvihů	85

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Rozdělení leteckých modelů dle FAI.....	11
Tab. 2. Parametry válce FESTO 193987 DSNU-10-62-P-MA.....	61
Tab. 3. Tabulka s vypočtenými hodnotami.....	66
Tab. 4. Parametry válce FESTO 193987 DSNU-10-40-P-MA.....	80
Tab. 5. Tabulka s vypočtenými hodnotami.....	84

SEZNAM PŘÍLOH

P I Výpočet pružiny odpružení 1. varianta

P II Výpočet pružiny odpružení 2. varianta

P III Výkresová dokumentace k 1. variantě

P IV Výkresová dokumentace ke 2. variantě

PV CD-ROM obsahující:

- modely obou variant v programu Autodesk Inventor Professional 2009
- výkresovou dokumentaci k oběma variantám
- animace obou variant
- renderované obrázky obou variant

PŘÍLOHA P I: VÝPOČET PRUŽINY ODPRUŽENÍ 1. VARIANTA

Compress Spring Component Generator (Version: 2009 (Build 130236001, 236))

4.5.2009

Project Info

Guide

Spring Strength Calculation	Compression Spring Design
Design Type	$F_8, D, \text{Assembly Dimensions} \rightarrow d, L_0, n, F_1$
Method of Stress Curvature Correction	No Correction

Spring Load

Min. Load	F_1	4,688 N
Max. Load	F_8	250,000 N
Working Load	F	140,000 N

Spring Dimensions

Loose Spring Length	L_0	130,955 mm
Wire Diameter	d	2,000 mm
Pitch of Free Spring	t	3,952 mm
Outside Spring Diameter	D_1	12,000 mm
Mean Spring Diameter	D	10,000 mm
Inside Spring Diameter	D_2	8,000 mm
Spring Index	c	5,000 ul

Spring Coils

Active Coils	n	32,000 ul	
Rounding of Coils Number	1		
Coil Direction	right		
Spring Ends			
Params	Start	End	
Closed End Coils	n_{z1}	1,500 ul	n_{z2} 1,000 ul
Transition Coils	n_{t1}	1,000 ul	n_{t2} 0,750 ul
Ground Coils	z_{o1}	0,750 ul	z_{o2} 0,500 ul

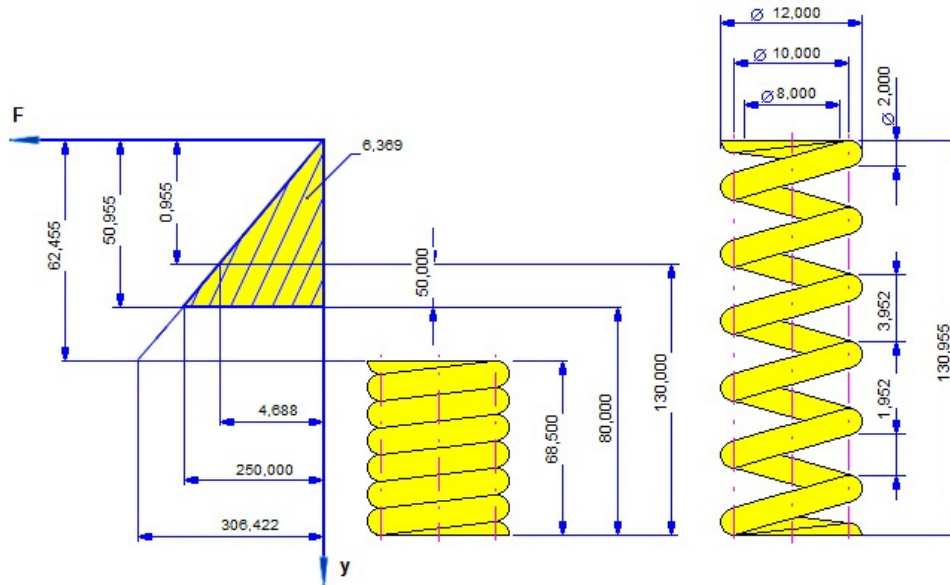
Assembly Dimensions

Min. Load Length	L_1	130,000 mm
Max. Load Length	L_8	80,000 mm
Working Stroke	H	50,000 mm
Working Load Length	L_w	102,420 mm
Installed Length	L	130,000 mm

Spring Material

Heat treated wire carbon steel		
Ultimate Tensile Stress	σ_{ult}	1500,000 MPa
Allowable Torsional Stress	T_A	900,000 MPa
Modulus of Elasticity in Shear	G	78500,000 MPa
Density	ρ	7850 kg/m ³
Utilization Factor of Spring Material	us	0,900 ul

Working Diagram



Results

Space between Coils of Free Spring	a	1,952 mm
Pitch of Free Spring	t	3,952 mm
Stress Concentration Factor	K_w	1,000 ul
Spring Constant	k	4,906 N/mm
Min. Load Spring Deflection	s_1	0,955 mm
Total Spring Deflection	s_8	50,955 mm
Limit Spring Deflection	s_9	62,455 mm
Limit Test Length of Spring	L_{minf}	78,325 mm
Theoretic Limit Length of Spring	L_9	68,500 mm
Spring Limit Force	F_9	306,422 N
Min. Load Stress	T_1	14,921 MPa
Max. Load Stress	T_8	795,775 MPa
Solid Length Stress	T_9	975,371 MPa
Critical Speed of Spring	v	5,116 mps
Natural Frequency of Spring Surge	f	222,426 Hz
Deformation Energy	W_8	6,369 J
Wire Length	l	1104,000 mm
Spring Mass	m	0,027 kg
Spring Check Result		Positive

Summary of Messages

11:43:08 Calculation: The Loose Length L_0 is out of the recommended range($D \leq L_0 \leq 10 * D$).
 11:43:08 : Calculation indicates design compliance!

PŘÍLOHA P II: VÝPOČET PRUŽINY ODPRUŽENÍ 2. VARIANTA

Compress Spring Component Generator (Version: 2009 (Build 130236001, 236))

4.5.2009

Project Info

Guide

Spring Strength Calculation	Compression Spring Design
Design Type	$F_8, D, \text{ Assembly Dimensions } \rightarrow d, L_0, n, F_1$
Method of Stress Curvature Correction	No Correction

Spring Load

Min. Load	F_1	1,126 N
Max. Load	F_8	250,000 N
Working Load	F	140,000 N

Spring Dimensions

Loose Spring Length	L_0	92,181 mm
Wire Diameter	d	2,120 mm
Pitch of Free Spring	t	4,601 mm
Outside Spring Diameter	D_1	14,000 mm
Mean Spring Diameter	D	11,880 mm
Inside Spring Diameter	D_2	9,760 mm
Spring Index	c	5,604 ul

Spring Coils

Active Coils	n	19,000 ul
Rounding of Coils Number		1
Coil Direction		right
Spring Ends		
Params	Start	End
Closed End Coils	n_{z1} 1,500 ul	n_{z2} 1,000 ul
Transition Coils	n_{t1} 1,000 ul	n_{t2} 0,750 ul
Ground Coils	z_{o1} 0,750 ul	z_{o2} 0,500 ul

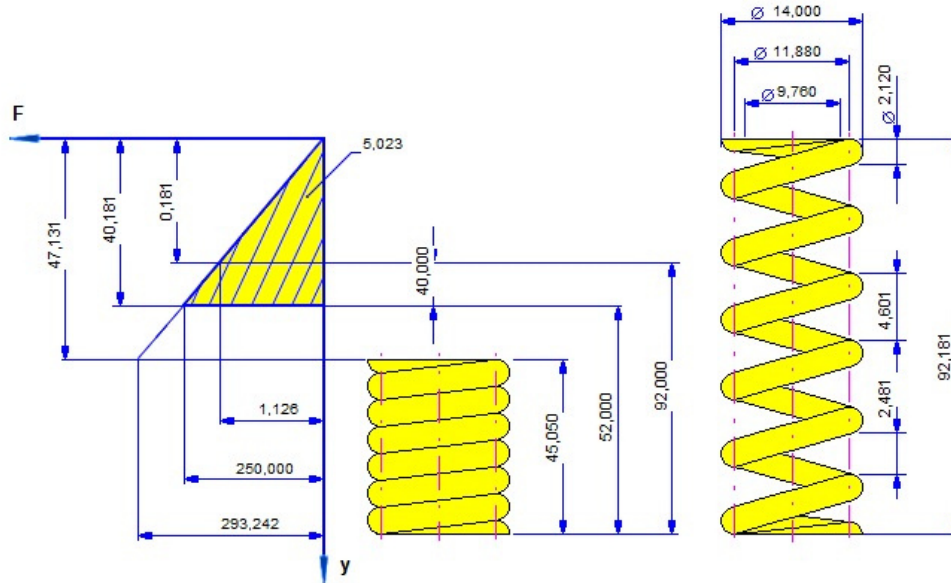
Assembly Dimensions

Min. Load Length	L_1	92,000 mm
Max. Load Length	L_8	52,000 mm
Working Stroke	H	40,000 mm
Working Load Length	L_w	69,680 mm
Installed Length	L	92,000 mm

Spring Material

Heat treated wire carbon steel		
Ultimate Tensile Stress	σ_{ult}	1500,000 MPa
Allowable Torsional Stress	T_A	900,000 MPa
Modulus of Elasticity in Shear	G	78500,000 MPa
Density	ρ	7850 kg/m ³
Utilization Factor of Spring Material	u_s	0,900 ul

Working Diagram



Results

Space between Coils of Free Spring	a	2,481 mm
Pitch of Free Spring	t	4,601 mm
Stress Concentration Factor	K_w	1,000 ul
Spring Constant	k	6,222 N/mm
Min. Load Spring Deflection	s_1	0,181 mm
Total Spring Deflection	s_8	40,181 mm
Limit Spring Deflection	s_9	47,131 mm
Limit Test Length of Spring	L_{minf}	51,817 mm
Theoretic Limit Length of Spring	L_9	45,050 mm
Spring Limit Force	F_9	293,242 N
Min. Load Stress	T_1	3,574 MPa
Max. Load Stress	T_8	793,760 MPa
Solid Length Stress	T_9	931,054 MPa
Critical Speed of Spring	v	3,911 mps
Natural Frequency of Spring Surge	f	281,355 Hz
Deformation Energy	W_8	5,023 J
Wire Length	l	817,344 mm
Spring Mass	m	0,023 kg
Spring Check Result		Positive

Summary of Messages

21:46:28 : Calculation indicates design compliance!