

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Lehký pohyblivý simulátor osobního
automobilu**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Cé** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **475417**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Informační a automatizační technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Lehký pohyblivý simulátor osobního automobilu

Název bakalářské práce anglicky:

Lightweight motion driving simulator

Pokyny pro vypracování:

- Navrhněte levnou variantu pohyblivého simulátoru osobního automobilu, který bude využívat reálné části místa řidiče a pro zobrazování simulovaného prostředí též využije minimální počet vhodných zobrazovacích zařízení.
- Identifikujte nejpodstatnější pohyby, mající vliv na reakce řidiče a navrhněte jejich interpretaci pomocí vhodných elektromechanických aktuátorů.
- Ideový návrh simulátoru vypracujte s cílem dodržení skladnosti a přemístitelnosti celého zařízení.

Seznam doporučené literatury:

- [1] VALÁŠEK M., ŠIKA Z., BAUMA V.: Mechanika B. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02919-0.
[2] Fernández, J.G.: A Vehicle Dynamics Model for Driving Simulators (thesis). Göteborg: Chalmers University of Technology, 2012. ISSN 1652-8557.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Václav Jirovský, Ph.D., 16123

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.08.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Václav Jirovský, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma “Lehký pohyblivý simulátor osobního automobilu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Václava Jirovského, Ph.D a že jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne: 13. srpna 2021

Podpis:

Poděkování:

Mé poděkování patří Ing. Václavu Jirovskému Ph.D. za vedení a hodnotné odborné konzultace k mé práci. Děkuji také Michalu Cé za technické konzultace a připomínky. Daně Céové a Štěpánovi Cé za stylistické poznámky a korektury.

V Praze dne: 13. srpna 2021

Abstrakt

Tato práce analyzuje a hodnotí vlastnosti automobilu při jízdě. Dále sleduje aktuálně dostupné simulační konstrukce pro jízdu automobilu. Jako podklady k analýzám a hodnocením jsou využity odborné články a dostupná literatura. K simulaci je využit programový nástroj Fluidsim 5. K vyhodnocování a prezentaci dat jsou použity programy sady MS Office a program Autocad Inventor. Konkrétně byly pro tuto práci použity pneumatické pohony a profilové konstrukční nosníky. V rámci experimentu byla navržena konstrukce simulátoru. Výsledky této práce mohou posloužit jako podklad k vývoji lehkého simulátoru použitelného například v domácím prostředí.

Klíčová slova:

Simulace jízdy; konstrukce simulátoru; simulace dynamických sil náklony; pneumatické pohony; stlačený vzduch

Abstract

This work analyses and evaluates attributes of a moving car. It is focused on currently available driving-simulators suited for simulating an automobile's driving experience. Specialized articles and credible literature were used as resources of information for the Thesis. Video simulation was made possible by Fluidsim 5 desktop program. For assessment and presentation were used MS Office and Autocad Inventor. Particularly for this work were used pneumatic propulsion and profiled constructional beams. A construction of the driving-simulator was projected within the experiment. Results of this Thesis may be used as a starting point for further light-simulator-development which can be used for example in home environment.

Key words:

Driving simulation; simulator construction; simulation dynamics forces by tilting; pneumatic propulsion; compressed air

Obsah

1. ÚVOD.....	- 6 -
2. TEORETICKÁ ČÁST	- 7 -
2.1 KINEMATICKÉ SIMULÁTORY JÍZDY	- 7 -
2.2 PODSTATNÉ POHYBY VOZIDLA, MAJÍCÍ VLIV NA REAKCE ŘIDIČE	- 8 -
2.3 SILOVÁ PŮSOBENÍ	- 9 -
2.4 SIMULACE JÍZDY.....	- 11 -
2.5 DRUHY SIMULÁTORŮ JÍZDY	- 13 -
2.6 SLOŽENÍ SIMULÁTORŮ JÍZDY	- 16 -
2.7 JEDNOTLIVÉ PRVKY KINEMATICKÉHO SIMULÁTORU JÍZDY	- 17 -
2.7.1 Sedačka.....	- 17 -
2.7.2 Způsoby pohybu sedačky při simulaci jízdy.....	- 17 -
2.7.3 Volant, pedály a případné rozšíření o řadící páku, ruční brzdu aj.....	- 18 -
2.7.4 Ovládací jednotka motorů a počítač s programem pro pohyby a projekci.....	- 18 -
2.7.5 Zobrazování jízdy	- 18 -
2.7.6 Reprodukce zvuku.....	- 19 -
3. PRAKTICKÁ ČÁST.....	- 20 -
3.1 SPOJOVACÍ MATERIÁL, KONSTRUKČNÍ A OVLÁDACÍ PRVKY SIMULÁTORU.....	- 20 -
3.2 VÝBĚR POHONU PRO POHYB SEDAČKY NAVRHOVANÉHO SIMULÁTORU	- 27 -
3.3 VOLBA KONSTRUKCE SIMULÁTORU A ROZLOŽENÍ POHONŮ	- 31 -
3.4 VOLBA KOMPRESORU	- 38 -
3.5 NÁVRH KOMPLETNÍHO SIMULÁTORU	- 39 -
4. ZÁVĚR.....	- 43 -
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	- 46 -
SEZNAM ZDROJŮ	- 48 -
PŘÍLOHY.....	- 49 -

1. Úvod

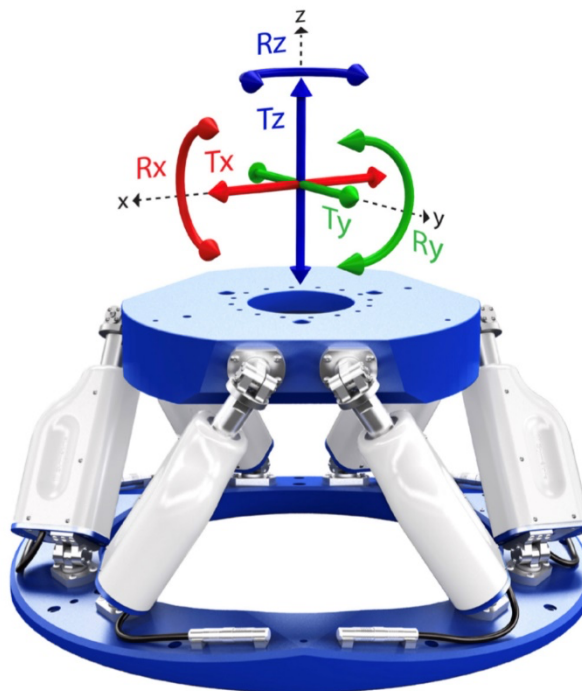
Tato bakalářská práce se zabývá studiem automobilových simulátorů z mechanického pohledu. Rozebírá síly a vlivy na řidiče, které se vyskytují při jízdě v reálném automobilu. Tyto síly by měly podobně působit i v případě simulace jízdy. To znamená, že se práce zabývá konstrukcí takového zařízení, které tyto síly a vlivy co nejvěrněji nasimuluje. Cílem práce je vytvořit simulátor jízdy z aktuálně dostupných konstrukčních prvků s ohledem na jejich cenu a zpracování.

V této době je možné narazit na různé druhy simulátorů, od velkých halových až po menší domácí. Cílem této práce je konstrukce kompaktního kokpitu v rozebíratelných rozměrech pro možnost jeho přemístování či převážení a s takovými nosnými i simulačními prvky, které se svou funkcí přibližují parametrům velkých simulátorů.

2. Teoretická část

2.1 Kinematické simulátory jízdy

Tato zařízení mají simulovat reálnou jízdu auta, kdy pohyb auta do zatáček je simulován náklony kokpitu do stran. Při jízdě se zařízení snaží nasimulovat jednotlivé síly, které by na člověka působily při reálné jízdě po určitém povrchu a náklonu vozovky. Příkladem je vyjetí z vozovky, kdy je simulována jízda po šterkové cestě nebo náraz do překážky. Simulátor využívá šesti stupňů volnosti tři rovinné a tři rotační – takzvaný hexapod (obr. 1). Ten je nazvaný Stewartova plošina a je nakláněn pomocí pneumatického, elektromechanického či hydraulického pohonu. Pohony jsou rozmístěny a k plošině připevněny do tvaru trojúhelníku. Simulace je zajištěna naklopením plošiny a běžně dosahuje až 0,5 G, což je přibližně 5 [ms⁻²]. Vnímání člověka nedokáže krátkodobě rozeznat přetížení oproti náklonu kabiny. To je důvod, proč lze simulovat stav pouze krátkodobě. [5][3][16][17]



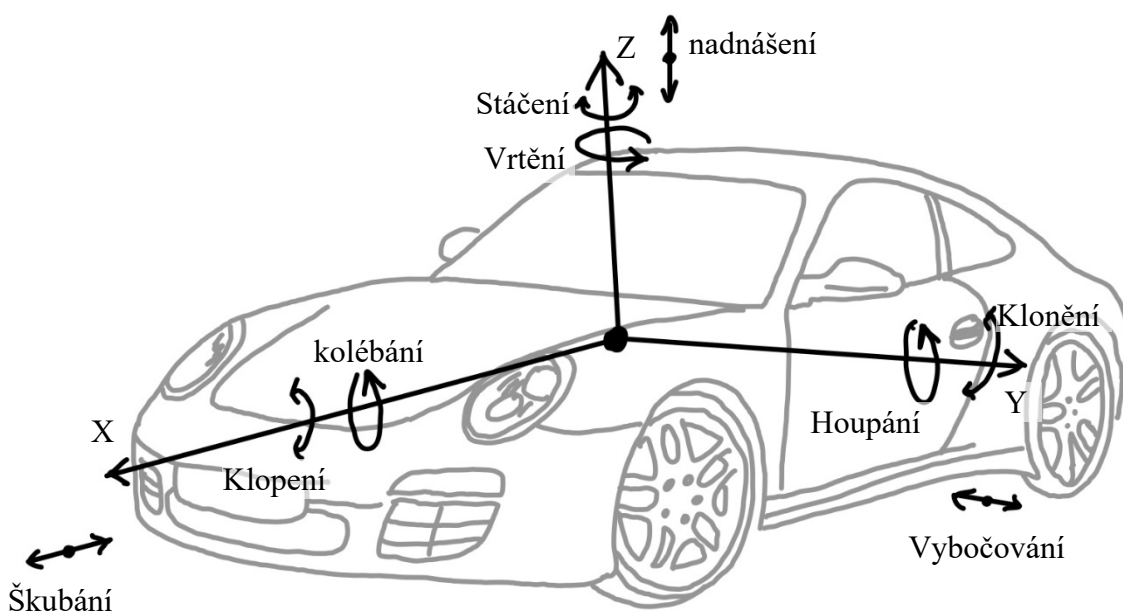
1 Hexapod [3]

2.2 Podstatné pohyby vozidla, mající vliv na reakce řidiče.

V reálném vozidle působí na řidiče široké spektrum sil, které jsou způsobeny stylem jízdy, dále druhem a sklonem vozovky po které vozidlo jede. Pro vysvětlení simulaci těchto sil je nutné zmínit základní teorii z vozidlové dynamiky.

Pro zjednodušení popisu vlastností vozidla využijí základního souřadnicového systému X, Y, Z. Kdy střed souřadnicového systému je v těžišti vozidla. X je kladný směr jízdy vpřed, Y je boční pohyb a Z je pohyb vzhůru (obr 2).

Přímá jízda v ose X je ovlivňována brzděním a zrychlením. Boční pohyb Y je ovlivňován pohybem vpřed a zatáčením. Pohyb v ose Z vzniká při zrychlení nebo zpomalení vlivem odpružení. [6]



2 Síly a pohyby vozu [6]

2.3 Silová působení

Pohybové vjemy se simulují pomocí základního principu mechaniky: na těleso pohybující se zrychleným pohybem vpřed působí setrvačná síla opačným směrem než směr je pohybu tělesa. Velikost setrvačné síly je podle Newtonova zákona (1) úměrná zrychlení a hmotnosti tělesa.

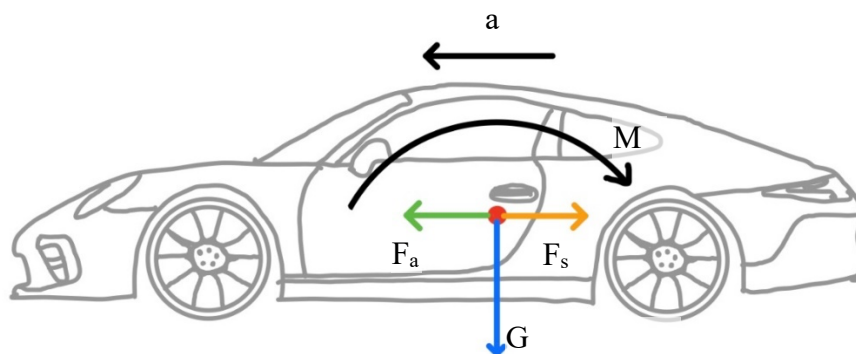
$$F = ma$$

(1)

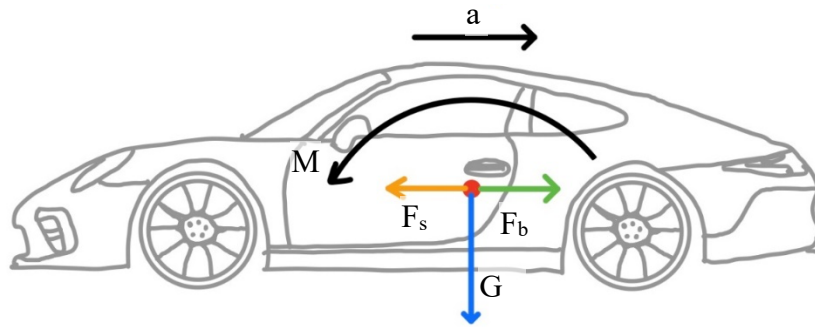
Člověk a vozidlo jsou v přímém kontaktu navzájem, tudíž jsou ve vzájemné soustavě. Z čehož plyne, že vozidlo a člověk na sebe působí vzájemně silou. Z toho vyplývá, že když vozidlo zrychluje, tak se s ním úměrně zrychluje i člověk, z čehož plynou tři základní stavy a síly vnímané člověkem: [6]

- Síly při zrychlení nebo brzdění

Když je pohyb vozidla rovnoměrně zrychlený nebo zpomalený působí na člověka setrvačné síly opačně orientované stejně velké jako je síla udílející pohyb vozidla. Pak zde vzniká takzvaný klopný moment, který je způsoben těžištěm v určité výšce nad vozovkou a odpružením vozidla. Vozidlo buď předkloní nebo zakloní (obr. 3,4).

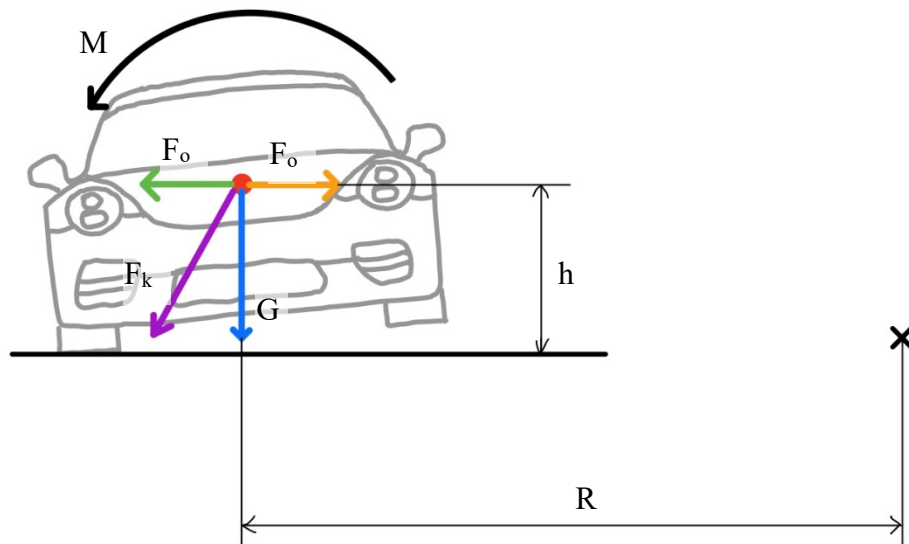


3 Síly při akceleraci [6]



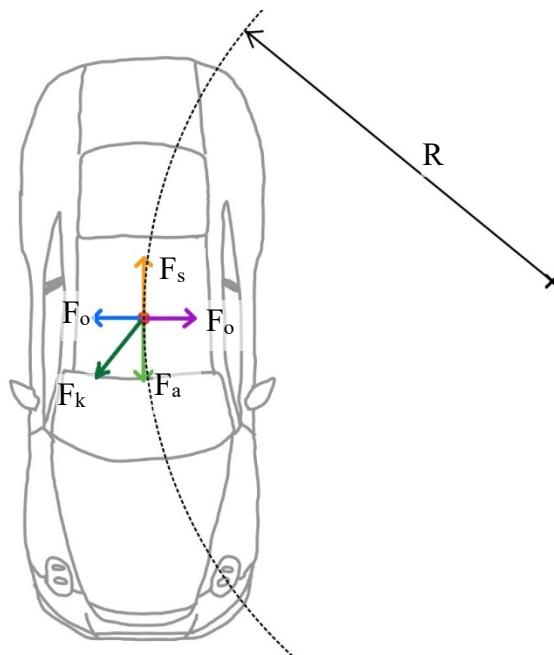
4 Síly při brzdění

- Síly při projíždění zatáčkou
Zde působí opět na vozidlo i na člověka setrvačné síly. Při odbočení vozidla z přímého směru se vozidlo i člověk nadále snaží zachovat přímý směr a tím vznikne takzvaná odstředivá síla. Tím vznikne náklon vozidla, který je způsoben odpružením a výškou těžiště h nad vozovkou.



5 Síly při průjezdu zatáčkou [6]

- Síly při zrychlení nebo brzdění v zatáčce
Kombinace prvních dvou stavů. Zde má vliv na reakční síly mnoho parametrů, jako jsou například tuhost pneumatik, výška těžiště aj.

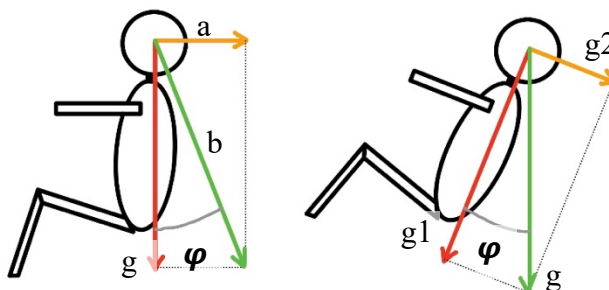


6 Síly při akceleraci a průjezdu zatáčkou [6]

2.4 Simulace jízdy

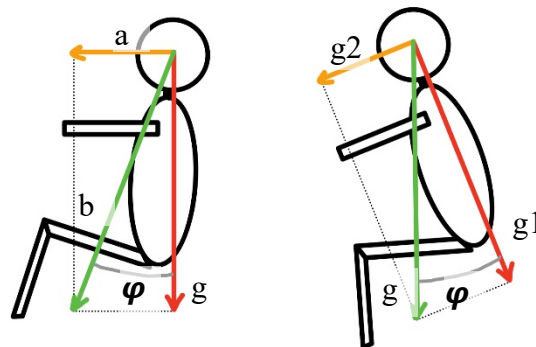
Simulace silového působení při jízdě na simulátoru se realizuje v malém prostoru. Je využíván náklon kokpitu pro nahrazení reálného pohybu. Při dostatečném náklonu člověk podvědomě zamění záklon za simulovanou setrvačnou sílu. Například při zrychlení se kokpit zakloní a tím na člověka působí síla gravitační g , která působí jako setrvačná síla při zrychlování, jak je zobrazeno na (obr. 7), kdy a je setrvačná síla zastoupená zrychlením, g je tíhové zrychlení. Výsledná síla je zastoupena zrychlením s označením b . Platí zde $|b| \approx |g|$ a zároveň $|a| \ll |b|$. V tomto případě zároveň platí akcelerace do 5 m/s^2 což odpovídá náklonu přibližně 30° poté lze uplatnit vzorec (2). [3]

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{a}{g}\right) \quad (2)$$



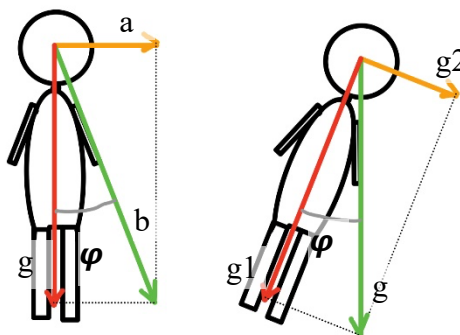
7 Síly při simulaci náklonu při zrychlení [3]

Při simulaci brzdění je naopak kokpit nakloněn dopředu a tím vznikne gravitační síla směřující vpřed. Zde je setrvačná síla zastoupena zrychlením a , tíhové zrychlení g a výsledná síla je zastoupená zrychlením b . [3]



8 Síly při simulaci náklonu při brzdění [3]

Průjezd zatáčkou je simulován následně: a značí setrvačnou sílu nahrazenou zrychlením, g tíhové zrychlení a výsledná síla b zastoupena zrychlením.



9 Síly při simulaci náklonu při zatáčení

2.5 Druhy simulátorů jízdy

Statické simulátory jsou postaveny na pevném podstavci, podlaze nebo na čtyřech nohách (pístech) které mění výšku a tím vzniká pohyb. Jejich konstrukce je složena z podstavce, k němuž jsou připevněny nosníky s pneumatickými nebo elektrickými pohony, na nichž je připevněna pohybující se deska, na které je posazen celý kokpit simulátoru. Projekci obrazu v kokpitu zajišťuje monitor připevněný na pohybující se konstrukci běžně pomocí VESA uchycení. Monitory jsou upevněny na stojanech postavených pevně na zemi před pohledem řidiče. Obraz vozovky je přenášěn třemi možnými způsoby. Při jízdě má řidič nasazené na obličej VR brýle nebo je obraz vozovky přenášěn pomocí monitoru, případně pomocí dataprojektoru na plátno. V tomto případě je projektor upevněn nad konstrukcí a promítá na plátno před kokpitem. Výhodou statického simulátoru je stabilita celého zařízení. Nevýhodou jsou velké rozměry a hmotnost celého systému. [4][8][12][14]



10 Statické simulátory [8]

Otočné simulátory se vyznačují pohyblivým podstavcem otáčejícím se okolo svislé osy. Celý mechanismus kokpitu i naklápění je upevněn na kolečkách. Obraz vozovky je přenášen pouze pomocí VR brýlí nebo pomocí monitoru připevněného na konstrukci simulátoru. Nevýhodou tohoto typu simulátoru je nižší stabilita čili vratkost celého systému. Výhodou je malá velikost a nízká hmotnost. Díky otočnému podstavci je nutné počítat s pevným a rovným podložím. [9]






11 Otočný simulátor [9]

Halové simulátory bývají umístěny v halách velkých rozměrů a jsou převážně využívány pro výzkum reakcí řidičů, dále reakcí automobilu aj. Tento typ simulátoru je složen z pohyblivého podstavce, který se může pohybovat ve dvou vodorovných osách. Na tomto podstavci se nachází hexapod (viz. 2.1). Na horní části hexapodu je namontována kopule, do které je umístěno reálné vozidlo. V této kopuli je projekce obrazu řešena pomocí šestnácti dataprojektorů ve 360°. Simulátor se při akceleraci posouvá směrem vpřed po vodících lištách, z čehož plyne přirozená simulace zrychlování. Naopak při brždění se simulátor posouvá směrem vzad. [5]



12 Halový simulátor [5]

Tabulka 1 Porovnávací tabulka s halovými simulátory [4]

	Pevný simulátor	Otočný simulátor	Halový simulátor
Stupně volnosti	6 DOF	6 DOF	6 DOF
Úhel rozsahu	17°	21°	25 °
Rychlost pohybu	3 m/s ²	4 m/s ²	6 m/s ²
Rozměry kokpitu [mm] Š x V x H	1200x1500x1600	1200x1500x1600	30000x5000x30000
Konstrukce			

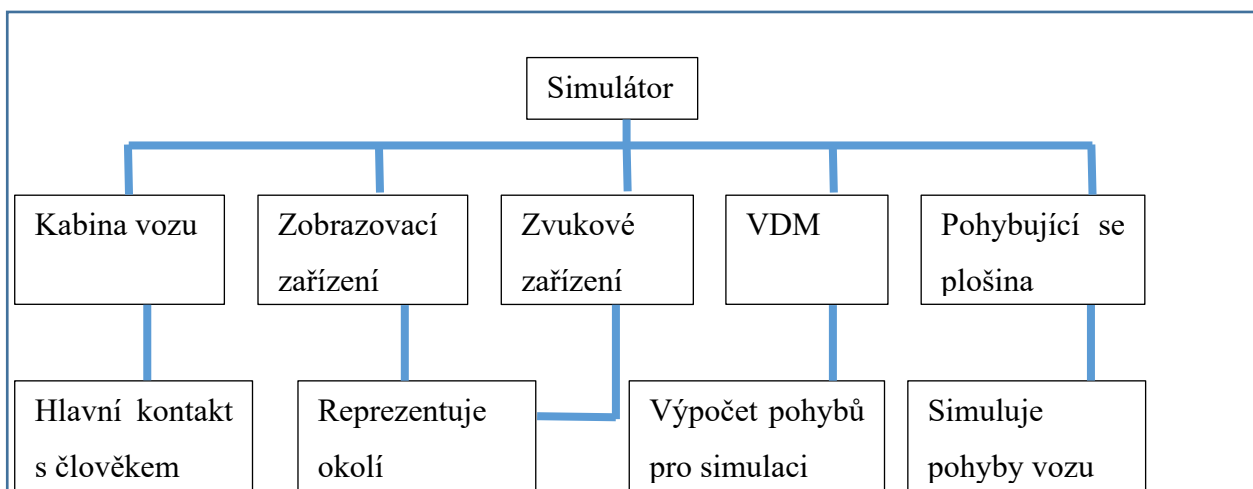
Ve srovnávací tabulce jsou vidět rozdíly v parametrech mezi dostupnými malými (pevnými a otočnými) a halovými simulátory, kdy velké halové simulátory vykazují větší náklony a rychlejší reakce, ale mají mnohem větší rozměry než pevné a otočné simulátory. Cílem této práce je snaha navrhnout konstrukčně mnohem menší simulátor, který však dosahuje rekčních rychlostí velkých (halových) simulátorů.

2.6 Složení simulátorů jízdy

Simulátor jízdy lze rozdělit do hlavních podsystémů.

Kabina vozidla, zobrazovací systém a zvukový systém. Interakci zařízení s řidičem zajišťují pedály, volant, řadicí páka, zrcátka, zobrazovací zařízení, reproduktory a sedačka. Tyto prvky jsou pro jízdu z pohledu řidiče zásadní. Zobrazují vozovku i okolí řidiče ve virtuálním světě, a zároveň přijímají impulzy řidiče k ovládní simulace.

VDM (dynamický model vozidla) je jeden z dalších podstatných prvků, sloužících pro výpočet simulovaných pohybů a náklonů simulátoru při jízdě. [6]



13 Hlavní podsystémy simulátoru [6]

2.7 Jednotlivé prvky kinematického simulátoru jízdy

2.7.1 Sedačka

Sedačka je prakticky shodná s běžnou sedačkou v autě. Je jen odlehčená a je možné ji sklopit pro lepší skladnost při převozu či při jiné manipulaci se zařízením. Maximální nosnost sedačky je 122 kg. Sedačka se prodává s nástavcem pro volant a pro pedály, které je možno připnout na předpřipravené desky. Sedačka je pro lepší skladnost složitelná. [11]

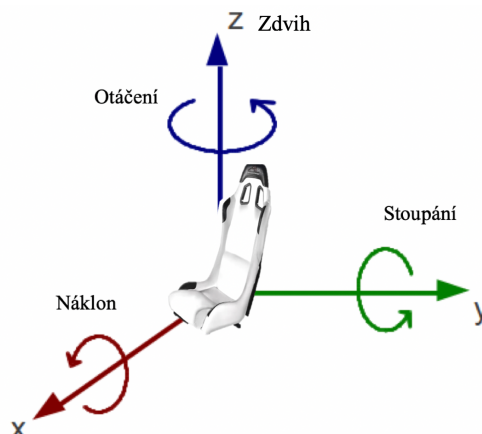


14 Sedačka Playseat [11]

2.7.2 Způsoby pohybu sedačky při simulaci jízdy

Sedačka je připevněna na konstrukci kokpitu. Jak již bylo dříve vysvětleno pomocí reálného vozidla, i zde se realizují podstatné pohyby simulátoru podobné jako u reálného vozidla.

Je zde 6 stupňů volnosti simulace reálných náklonů jako u automobilu, tj. pohyb sedačky ve dvou až šesti osách. Rotace okolo osy Y představuje klonění, rotace okolo osy X představuje klopení a rotace okolo osy Z představuje otáčení. Posun v ose Z představuje nadnášení, posun v ose Y představuje vybočování a posun v ose X představuje šhubání.



15 Osy pohybů otáčení

2.7.3 Volant, pedály a případné rozšíření o řadicí páku, ruční brzdu aj.

Na simulátorech jsou používány dva způsoby uchycení těchto prvků. V prvním případě se příslušenství pohybuje upevněné se sedačkou a v druhém případě je upevněno na nepohyblivé konstrukci, která nesouvisí se sedačkou.

Na zařízení mohou být tři nebo dva pedály. Při použití pouze dvou pedálů na simulátoru pak chybí pedál pro spojku.

2.7.4 Ovládací jednotka motorů a počítač s programem pro pohyby a projekci.

Ovládací jednotka ovládající motory je buď připevněná na konstrukci simulátoru, nebo je umístěná mimo jeho konstrukci a s motory je propojená kabelem. Ovládací jednotky jsou odlišné podle výkonu a počtu ovládaných os. Pro pneumatické motory se používají jednotky se stlačeným vzduchem a elektropneumatickými ventily, které ovládají jednotlivé písty.

2.7.5 Zobrazování jízdy

Jak již bylo dříve uvedeno, k zobrazování vozovky může být použito několik způsobů. U simulátorů se používá buď jeden širokoúhlý monitor s poměrem stran 32:9 nebo dva monitory s poměrem stran 16:9. Ideální zobrazovací frekvence je 60 Hz. Výhodou je kompaktní rozměr a dobrý jas i za světla, nevýhodou je možnost snadného poškození při neopatrném transportu.



16 Monitory pro zobrazení simulace [13][19]

Další možností je zobrazování pomocí dataprojektoru na plátno. Tato metoda má výhody přehlednosti obrazu silnice a okolí na velké ploše. Nevýhodou je zde nízký jas. Tuto metodu je vhodné využívat v tmavších podmínkách. Pokud ji chceme použít při vyšším

jasu, je nutné použít vysoce kvalitní dataprojektor s vysokou cenou. Zároveň může být problém také rychlá degradace lampy v dataprojektoru.



17 Zobrazení pomocí dataprojektorů [18]

V případě použití VR brýlí vydíme dva displye, na kterých se promítá obraz. Nevýhodou tohoto systému je, že při nasazení brýlí člověk nevidí volant a pedály nebo je komplikované zanést volant do VR prostředí. V krajních případech se řidiči může i dělat nevolno. Naopak výhodou VR brýlí je, že při otáčení hlavou se otáčí i virtuální pohled což má za následek lepší pohled a realističtější pocit z jízdy.



18 VR brýle [20]

2.7.6 Reprodukce zvuku

Pro VR brýle postačují běžná sluchátka, která jsou přímo zapojená do samotných VR brýlí pomocí zdířky. Jinou možností je použití reproduktorů, které jsou upevněné na pohybujícím se rámu nebo staticky postavené okolo sestavy.

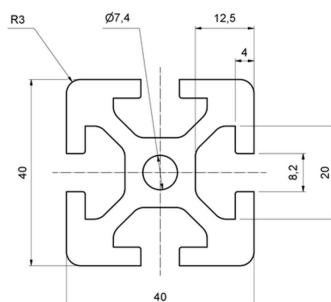
3. Praktická část

Cílem této práce bylo vytvoření lehkého přenosného simulátoru jízdy, který však věrně simuluje reálnou jízdu automobilu. Nejprve jsem prostudoval dostupnou literaturu a díky získaným znalostem jsem navrhl konstrukci simulátoru jízdy s pneumatickým pohonem. Hlavním důvodem mojí volby simulátoru s pneumatickým pohonem byla dostupnost pohonů, rychlost a bezpečnost.

3.1 Spojovací materiál, konstrukční a ovládací prvky simulátoru

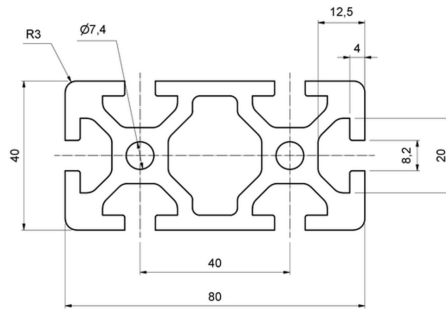
Můj návrh simulátoru jízdy počítá s konstrukcí lehkého a mobilního zařízení, které lze snadno rozebrat a přemístit na jiné místo. Pro konstrukci kokpitu a celé nosné sestavy návrh využívá normalizované profily a spojovací materiál. Díky tomu je zajištěna rozebíratelnost zařízení pro případný převoz. Použity jsou normalizované profily vyrobené z hliníku, což zajišťuje nízkou hmotnost celého zařízení. V návrhu je použito úhlové spojení hliníkových profilů, ke kterému přísluší šrouby a matice. Matice se vkládá do drážky profilu. Spojení konstrukčních profilů k sobě je tak realizováno nedestruktivním způsobem, kdy není nutné vrtat otvory pro šrouby nebo jinak upravovat profil. V navrhované konstrukci jsou využity tři druhy konstrukčních profilů. První z nich jsou použity pro méně namáhané prvky nakláněného kokpitu. Druhé jsou použity pro nosné prvky kokpitu a třetí typ slouží pro zajištění vysoké stability podpůrné části DGC pohonu.

Méně namáhaný nosník kokpitu - Profil 40x40 – 104040.



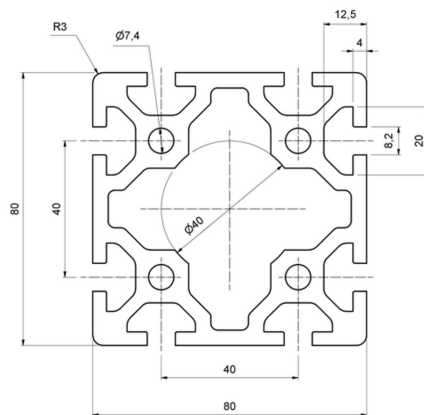
19 Profil 40x40 - 104040 profil pro kokpit [1]

Nosné prvky - Profil 40x80 – 104080. Tento profil je využit pro dlouhé nosníky, kterébudou zatěžovány na ohyb a pro podstavu.



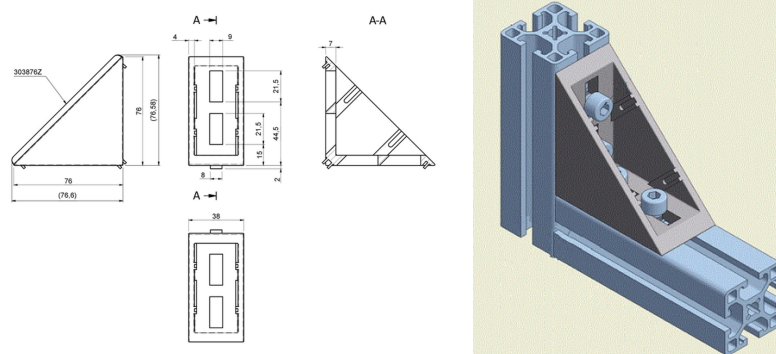
20 Profil 40x80 - 104080 pro nosníky a podstavu kokpitu [1]

Nosník DGC pohonu - povede a ponese píst v zadní části simulátoru. Díky zajištění vysoké stability zařízení bude využit Profil 80x80 – 108080



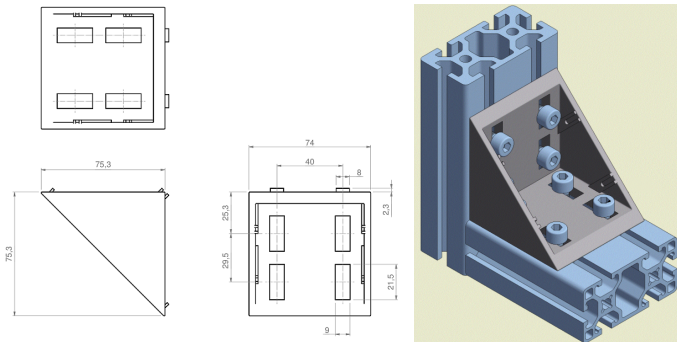
21 Profil 80x80 - 108080 pro píst DGC [1]

Pro úhlové spoje budu využívány úhlové spojky pod názvem fixační úhelník 38x76 303876, které jsou rozměrově odpovídající mnou zvoleným profilům pro 40 mm šířku.



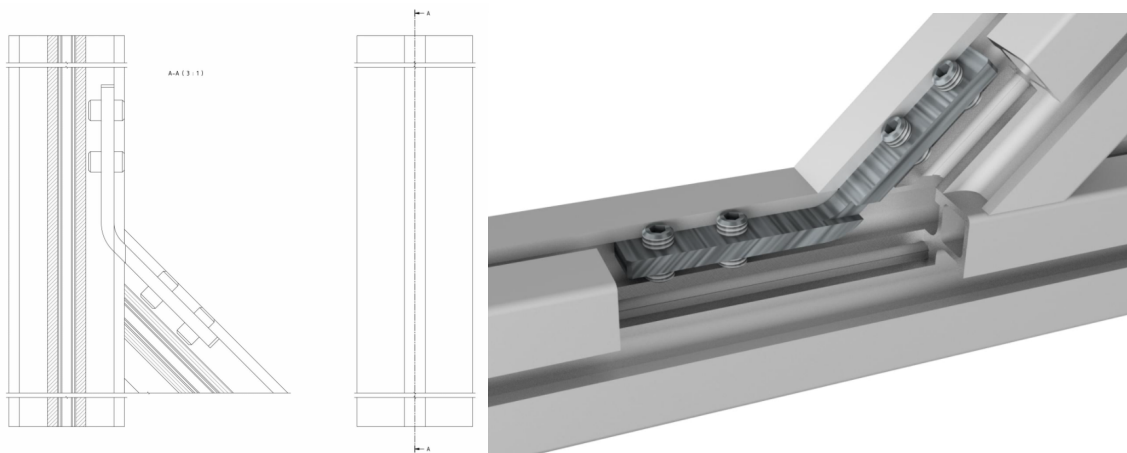
22 Fixační úhelník 30x76 – 303876 [1]

V případech, kde je třeba spojovat přes úhlový spoj dva profily o šířce 80 mm, navrhují využit úhelníky s označením fixační úhelník 74x76 – 307476.



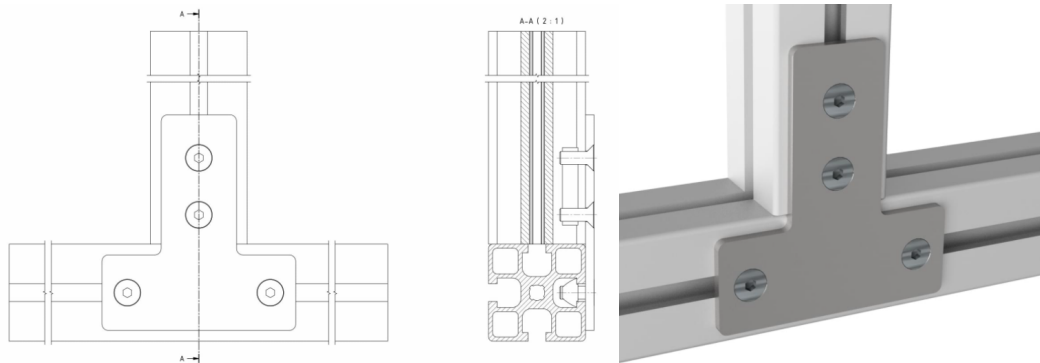
23 Fixační úhelník 74x76 – 307476 [1]

Pro spojení podpěr v úhlu 135° navrhují využit vnitřní úhlovou spojku. V tomto případě je nutná úprava nosníku seříznutím pod úhlem 45°. Při montáži bude vložena spojka do drážky v nosníku a dotáhne se čtyřmi šrouby. Ani v tomto případě není nutné nosník nijak dále vrtat či jinak upravovat. Tato spojka zároveň zajistí možnost rozebíratelnosti pro případnou přepravu.



24 Úhlová spojka 135° [1]

Pro spojení částí kokpitu, kde by úhlové spoje nebyly vhodné, použijí „Externí konektor“. Tento konektor se používá pro spojení nosníků, které jsou na sebe kolmé.



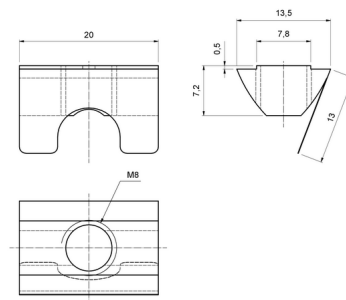
25 Externí konektor [1]

Pro veškeré spojování dílů konstrukce návrh využívá šrouby M8 DIN 7984 – 200816.



26 Spojovací šroub M8 DIN 7984 – 200816 [1]

Jako protikus ke šroubům návrh využívá matice s pružinou 40 - 210482. Po vložení do drážky je tato matice zajištěna pomocí pružného jazýčku. Jazýček drží matici v požadované poloze a usnadňuje tak montáž.



27 Matice s pružinou 40 – 210482 [1]

Pro tento typ simulátoru navrhuji využít část sestavy Playseat, která se prodává k herním konzolím. Sestava obsahuje sedačku, desky pro volant a pedály a podstavec (viz kapitola 2.7). Pro převoz a kompaktnost je možné opěradlo sedačky složit a ta tím zmenší svůj objem.



28 Sedačka Playseat [11]

Pro pohodlné nastupování a vystupování ze simulátoru návrh počítá s posuvem sedačky. K tomu poslouží lyžiny, podobné jako jsou použity v běžném automobilu. Lyžiny budou přišroubovány na konstrukci kokpitu a nahradí tak podstavec, který je součástí playseatu, a který nebude díky tomu využit. Z playsetu tedy použiji pouze sedačku a podložky pro volant a pedály.



29 Lyžiny pro posun sedačky [15]

Pro zobrazení simulovaného prostředí jsem v návrhu zvažoval použití dataprojektoru či více monitorů. Nakonec jsem kvůli potřebné mobilitě zařízení zvolil jako nejlepší řešení použití monitoru 27“ (685,8 mm), který je mírně prohnutý, s poměrem stran 16:9, s rozlišením Full HD. Samsung C27F396.



30 Monitor samsung C27F396 [13]

Pro ovládání simulátoru jízdy využívám setu Logitech G29 Driving Force (volant a pedály), běžného pro herní konzole. Tento set je připojitelný pomocí portu USB k počítači a disponuje zpětnou vazbou, která se projevuje cukáním a odporem proti otočení volantu, dále disponuje LED indikátory zařazeného rychlostního stupně na volantu.



31 Volant Logitech G29 driving force [10]

K setu Logitech G29 Driving Force se zvlášť prodává také řadící páka. Řadící páku u herních konzol může nahrazovat řazení tzv. pádly pod volantem. Můj návrh však počítá s co nejrealističtějším řešením simulace jízdy, tudíž řadící páku do návrhu zahrnuji. Navrhuji použít Logitech driving force shifter.



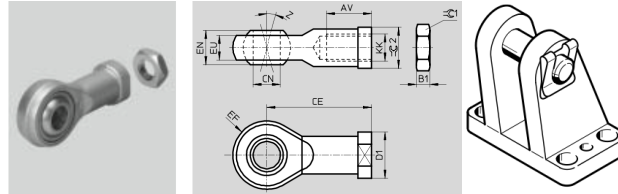
32 Řadící páka Logitech driving shifter [10]

Pro simulaci odstředivých sil náklony používám fluidních svalů DMSP 40-687N-RM-RM o průměru 40 mm a mnou vypočtené délce 750 mm pomocí výpočtové tabulky číslo 5. (viz. příloha č. 2). Fluidní svaly jsou uchyceny ke konstrukci pomocí příslušenství.



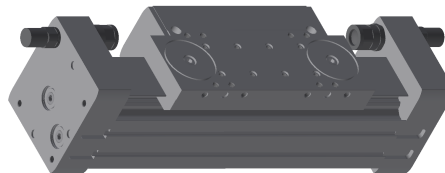
33 Fluidní sval DMSP 40 - 687N [7]

Jako spojovací materiál pro úchyty fluidních svalů využiji kloubové hlavice s označením SGS M16x1,5, které zajistí funkci náklonů kokpitu. Tyto klouby využiji také pro úchyt kokpitu na DGC bezpístnicový pohon s vedením. Protikusem ke kloubové hlavici je ložiskové těleso LBG-63.



34 Kloubové hlavice pro uchycení kokpitu a ložiskové těleso [7]

Pro zadní svislý píst, který bude upevněn na Profilu 80x80 – 108080, využiji lineární bezpístnicový pohon DGC. Ten bude uchycen pomocí patkového upevnění HP. Navrhují pohon s pístem o průměru 50 mm a zdvihem 100 mm s označením DGC 50-100-YSRW-A.



35 Rovinný píst DGC 50-10 [7]

Jako spojovací materiál pro uchycení pístu na nosný sloupek (hliníkový Profil 80x80 – 108080) využiji patkové upevnění HP. S vlastním kokpitem bude jezdec pohonu spojen přes úhlový spoj v kombinaci s kloubovou hlavici s označením SGS M16x1,5. Jako protikus ke kloubové hlavici bude využita tyč se závitem. Závítová tyč bude vedena v nosné konstrukci vyvrtaným otvorem do nosníku.



36 Upevnění roviného pístu [7]

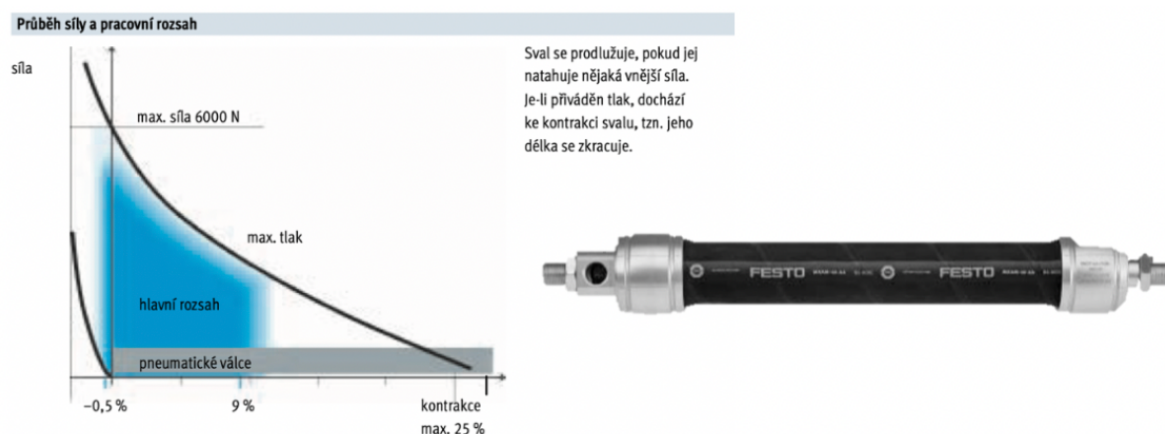
Pro nastavení požadované pozice kokpitu můj návrh využívá ovládání všech pohonů proporcionálními regulátory tlaku. Ty zajišťují polohování kokpitu bez senzorů, které by jinak odměřovaly polohu. V regulátoru se nastaví hodnota tlaku, který určuje aktuální polohu svalu či pístu. Proporcionální regulátor bude získávat ovládací signály z řídicí jednotky a sám si bude nastavovat tlak v pohonu. Síla vyvozená pneumatickými pohony bude působit proti gravitaci.

3.2 Výběr pohonu pro pohyb sedačky navrhovaného simulátoru

Při konstrukci simulátoru bylo důležité zvolit nejvhodnější metodu pro pohyb kokpitu tak, aby co nejvěrněji simuloval reálné pohyby skutečného automobilu. Pohony slouží pro náklon a pohyb celého kokpitu. Pro můj návrh jsem testoval parametry a vybíral nejvhodnější pohony v programu FluidSIM. Zjištěné údaje jsem shrnul v závěrečné tabulce č. 2, která mi sloužila k rozhodnutí volby nejvhodnějšího řešení. Zde jsou 4 varianty řešení, které lze použít pro pohyb kokpitu v mém návrhu simulátoru.

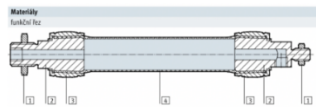
1. varianta:

Fluidní sval je specialitou firmy FESTO. Jedná se o pružný sval, který se při zvýšení vnitřního tlaku délkově smršťuje. Tento sval působí proti hmotnosti zavěšeného břemene, které má snahu jeho délku naopak prodloužit. Ovládán je pomocí proporcionálního regulátoru tlaku. Tento regulátor je schopen změnou aktuálního ovládacího tlaku délku svalu plynule přizpůsobit.



37 Fluidní sval a graf síly na rozsahu [7]

Fluidní sval DMSP má nevýhodu možného poškození při přepravě ostrými předměty. Jeho výhodou je ale vysoká frekvence, nízká hmotnost a vysoká nosnost. Ve srovnání s běžnými pístovými pohony je také naprosto bezpečný pro uživatele. Jeho uchycení je realizováno dvěma způsoby. První způsob je lisované spojení, druhý je se šroubovým spojením. Přívod vzduchu do fluidního svalu je buď boční (radiální) nebo středem závitů (axiální).

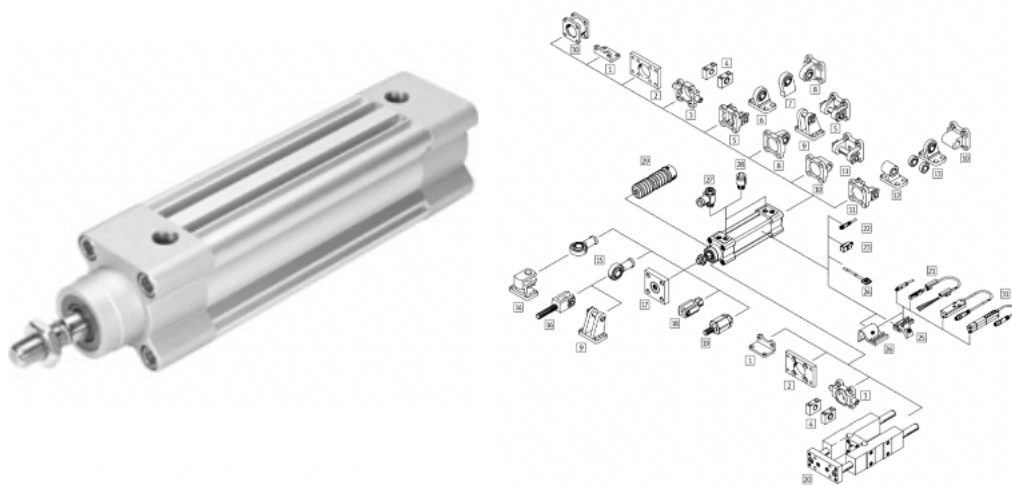


funkce	konstrukce	typ
jednočinný tažný pohon	fluidní svaley s lisovaným spojem	DMSP
	fluidní svaley se šroubovým spojem	MAS

38 Uchycení a přívod vzduchu fluidního svalu [7]

2. varianta:

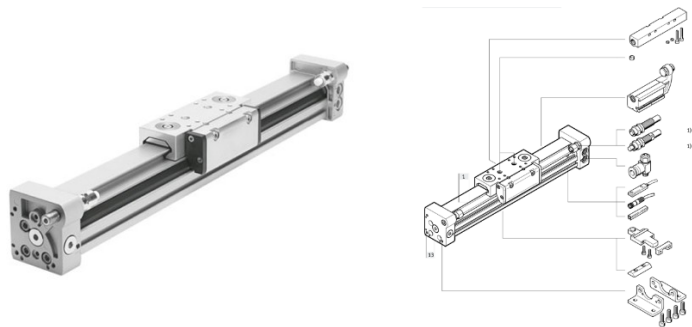
Pneumatické válce jsou ovládány tlakovým vzduchem, který je přiváděn na jednu stranu pístu a z druhé je odvětráván do atmosféry. Při změně směru pohybu je tomu naopak. Při navrhování jsem řešil možnost použití pneumatického pohonu s pístnicí nebo tzv. bezpístnicového. Díky vertikálnímu použití tohoto pohonu je i zde možné použít ovládání proporcionálním regulátorem. Výhodou je přesné polohování pístu změnou tlaku. Nevýhodou je pomalejší frekvence a delší odezva pístového pohonu ve srovnání s fluidním svalem, stejně jako jeho vyšší hmotnost.



39 Pneumatický válec s pístem a příslušenství [7]

3. varianta:

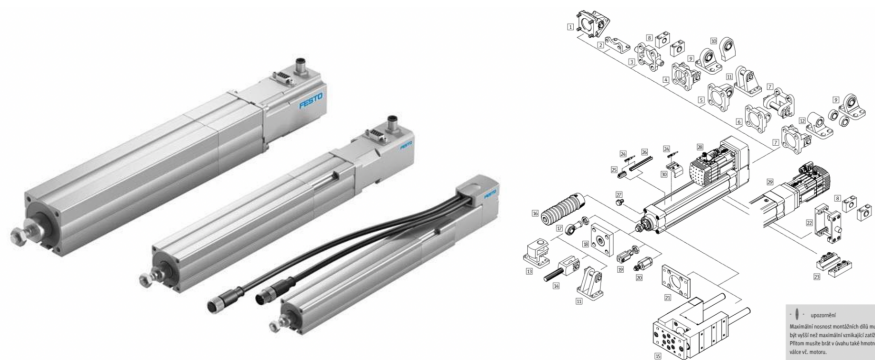
Další možností je využití přímočarých pohonů DGC bezpístnicových. Bepístnicový pohon je ovládán podobně jako výše uvedené pístnicové provedení. Rozdílem je způsob uchycení části, se kterou se pohybuje. Ta je uchycena z boku na jezdec s pístem a vedena kluzným vedením. Chybí zde pístní tyč a těsnost pohonu proti atmosféře je řešena tzv. pneumatickým zipem. Nevýhodou ve srovnání s fluidním svalem je i zde pomalejší odezva a vyšší hmotnost. Důležitou předností je zde ale přesné vedení jezdcce a zachycení mimoosových sil.



40 Přímočaré pohony DGC s vedením s příslušenstvím [7]

4. varianta:

Tato varianta využívá při návrhu elektrické lineární pohony. Ty jsou poháněny elektricky, jsou v porovnání s pneumatickými válci a fluidními svaly pomalejší a těžší. V poměru výkonu a velikosti jsou horší než pneumatická varianta. Nabízí se možnost použití elektrického pohonu s řemenem, ale ten je oproti DGC těžší a má menší nosnost. Dále lze použít pohon s vřetenem s kuličkovým závitem nebo s kluzným závitem. Nevýhodou je výrazně nižší rychlost a vyšší hmotnost. Výhodou obou elektrických variant je ale přesná informace o aktuální poloze, ve které se jezdec nachází.



41 Elektrické válce a jejich příslušenství [7]

Pro výběr nejvhodnější varianty mi posloužila následující srovnávací tabulka. Tato tabulka vychází z mých zjištění (viz. 3.2) Jedná se o porovnání rychlosti odezvy, hmotnosti zařízení aj.

Tabulka 2 Porovnávací tabulka pohonů

Pohony	Přímočarý pohon DGC	Fluidní svaly	Elektrické válce	Pneumatické válce
Pro	Dobrá rychlost odezvy Vysoká nosnost Zachycení mimoosových sil	Hmotnost Nejlepší rychlost odezvy Nehlučnost Pružnost (nehrozí poškození při ohybu) Odolné vůči nečistotám	Není nutný vzduch a kompresor Rozebíratelné Není nutná ovládací jednotka vzduchu V případě výkonnější varianty velké rozměry a hmotnost	Dobrá rychlost odezvy Robustní, méně náchylný na poškození
Proti	Nutný kompresor pro stlačený vzduch Hmotnost	Poškození ostrými předměty Nutnost kompresoru pro fungování	Pomalá odezva Hmotnost Možnost poškození při ohybu Choulostivé na nečistoty	Nutnost kompresoru pro fungování Možnost poškození při ohybu Hmotnost Choulostivé na nečistoty
výsledek	3. volba pro pohon	Ideální pro pohon simulátoru 1. volba	Nevhodný z důvodu rychlosti odezvy 4. volba	2. volba pro pohon

Z tabulky vyplývá, že při rozhodování je nejdůležitější sledování hmotnosti, rychlosti odezvy a sjednocení ovládání jedním druhem energie. Tyto sledované parametry nejlépe splňuje fluidní sval, který byl popsán v první variantě. Toto řešení jsem v návrhu zvolil pro přední dva pohony. U zadního pohonu bylo potřeba také zachovat rychlou reakci, ale zároveň zachytit mimoosové síly. To stabilizuje polohu kokpitu a brání jeho rozkmitání.

3.3 Volba konstrukce simulátoru a rozložení pohonů

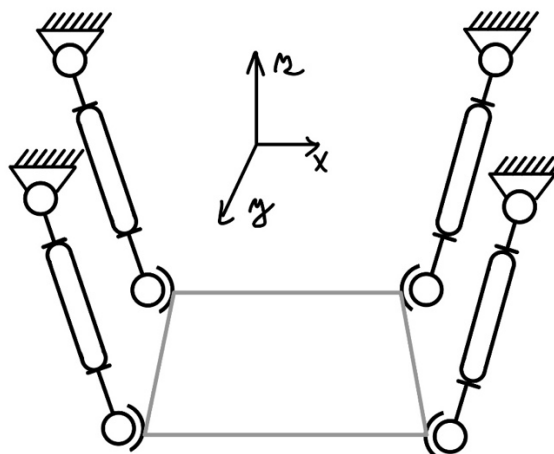
V dalším postupu jsem se věnoval výběru nejvhodnější konstrukce simulátoru, rozložení a počtu fluidních svalů. Opět pracuji se čtyřmi možnými variantami, ze kterých lze zvolit tu neoptimálnější.

Varianta č. 1:

V této variantě jsem použil zavěšení kokpitu do konstrukce pomocí 4 fluidních svalů. Toto řešení má vysoké nároky na konstrukci, která nese svaly a s nimi i kokpit. Návrh počítá s příliš dlouhými nosníky nesoucími pohony a kokpit, díky tomu hrozí vysoké namáhání nosníků na ohyb. Nevýhodou je také uchycení do čtverce. Další nevýhodou je komplikované řízení pohonů k náklonu kokpitu a nemožnost otáčení kokpitu okolo osy Z. Nevhodné je také houpání kokpitu a možnost jeho nárazu do nosníků konstrukce. V tomto případě jsem neshledal téměř žádné výhody.



42 Návrh 1. rozložení fluidních svalů.



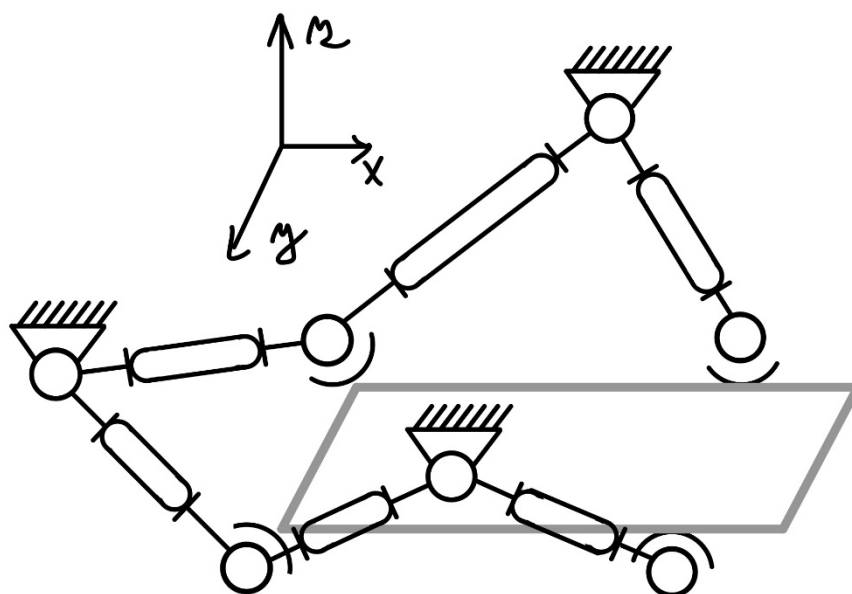
43 Kinematické schéma návrhu 1.

Varianta č. 2:

Tento návrh se skládá ze 6 fluidních svalů. V tomto případě je nešikovné rozmístění uchycení fluidních svalů. Díky tomu by se do takového simulátoru hůře řidiči nastupovalo. Je to proto, že pohony jsou rozmístěny okolo celého kokpitu. Toto je poměrně složité řešení s ohledem na veškeré řízené pohyby kokpitu. Z hlediska tvaru je toto řešení nejbližší k obrácenému hexapodu, což je také ideální z hlediska věrnosti simulace pohybů reálného vozidla. V případě výšky a skladnosti je toto řešení optimálním příkladem, což také vyplývá z výpočtové tabulky náklonů č. 3. (viz. příloha č. 2). Nevýhodou řešení je zejména velká síla kolmá na osu nosníku způsobující ohyb.



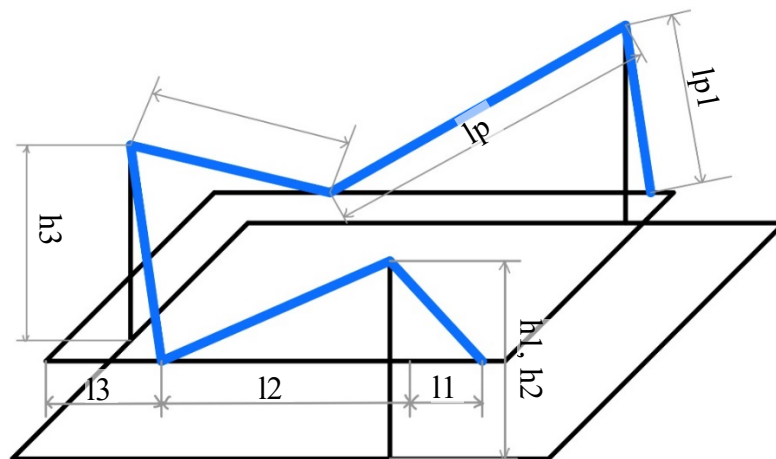
44 Návrh 2. rozložení fluidních svalů.



45 Kinematické schéma návrhu 2.

Pro výpočet rozměrů konstrukce jsem si sám připravil jednoduchý výpočtový program. V něm jsem mohl vypočítat různé délky pístů a úhly náklonů při různých hodnotách délek. Vypočtené veličiny jsem následně zpracovával v tabulkovém editoru, kde jsem dopočetl náklony a tíhy g podle vzorce náklonu z kapitoly 6.

Tabulka č. 3. (viz. příloha č. 2) zobrazuje a srovnává vypočtené hodnoty při určitém nastavení délek nosníků, svalů a vzdáleností uchycení. Jsou zde znázorněny dvě verze zkrácení svalů, tj. zkrácení pístu o 20% nebo 25%. V reálných podmínkách bývá efektivní zkrácení přibližně o 22%. Délky uchycení svalů jsou pevně dané hodnoty. Délky pístů jsou dopočtené hodnoty využité pro dané délky soustavy. V tabulce jsou uvedeny maximální hodnoty náklonů a tíhového zrychlení.



46 Znáznornění označení délek jednotlivých prvků z tabulky

Toto řešení je z pohledu náklonů a simulace pohybů vozidla neoptimálnější, ale vzhledem ke složitosti ovládání pohonů, velkým silám působícím na konstrukci, nešikovnému nastupování a vystupování řidiče z kokpitu, a v neposlední řadě i konstrukčním problémům zejména při velikých náklonech jsem toto řešení pro daný účel vyloučil.

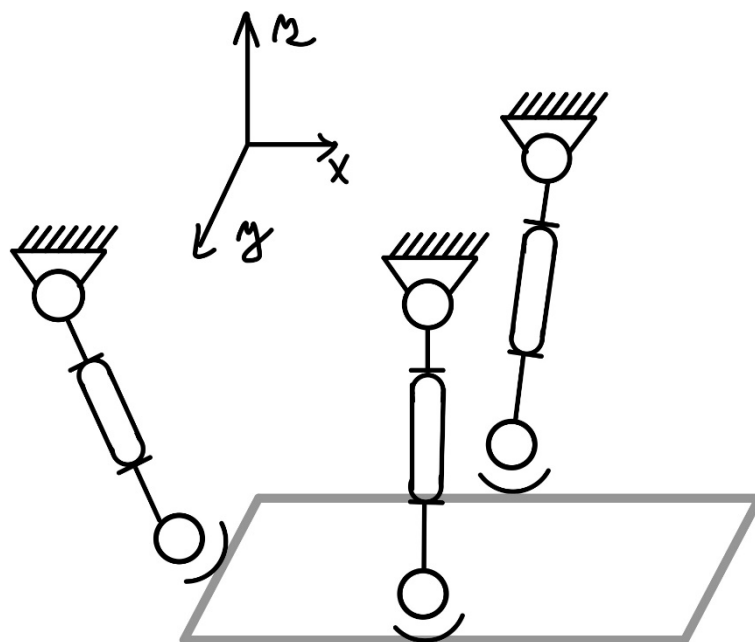
Varianta č. 3:

Při tomto řešení navrhuji použít v konstrukci 3 fluidních svalů. Jedná se o zjednodušenou verzi obráceného hexapodu bez možnosti otáčení okolo osy Z . Konstrukce je jednoduchá a skladná. Nevýhodou je příliš volný kokpit, který by se houpal a hrozil by náraz do nosné konstrukce. S tím souvisí i vysoká síla na ohyb zadního nosníku a malá míra kontroly náklonů. Výhodou je uchycení pohonů do trojúhelníku což zajistí veškeré náklony, vyjma

otočení okolo osy Z, a maximální využití pohonů. Výhodou je také nižší hmotnost pohonů oproti hmotnosti pohonů z pneumatických válců nebo DGC.



47 Návrh 3. rozložení fluidních svalů.



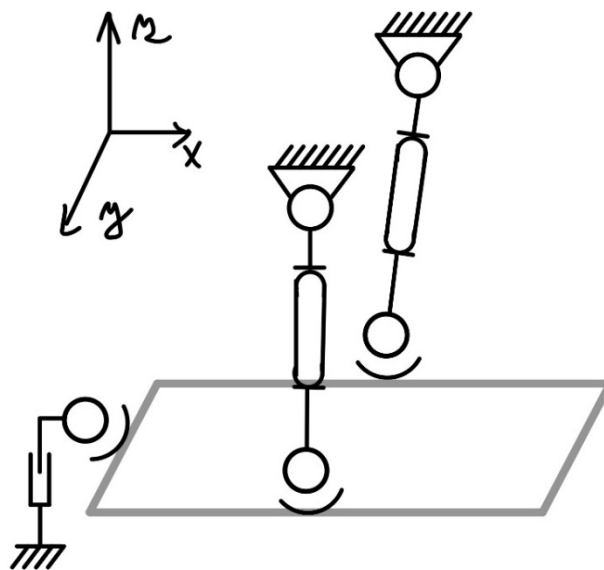
48 Kinematické schéma návrhu 3.

Varianta č. 4:

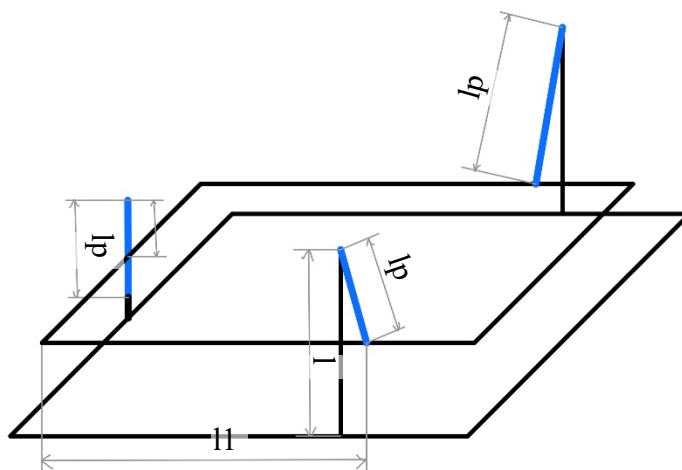
Tato varianta počítá s využitím dvou fluidních svalů a jedním DGC pohonem s kluzným vedením. Jedná se o upravené řešení varianty č. 3. Místo zadního svalu je zde použit DGC pohon, který zamezí přílišnému houpání kokpitu. Výhodou je jednoduché ovládání pouze tří pohonů v konstrukci, kdy dva fluidní svaly jsou v ose těžiště a naklání kokpit bočně. Zadní uchycení kokpitu jsem řešil pomocí DGC pohonu, který zajišťuje náklon vpřed a vzad. Nevýhodou této varianty vidím v omezené možnosti otáčení okolo osy Z. Po zvážení všech výhod i nevýhod jsem pro konečné řešení simulátoru zvolil právě tuto variantu.



49 Návrh 4. rozložení fluidních svalů v kombinaci DGC pohonu.



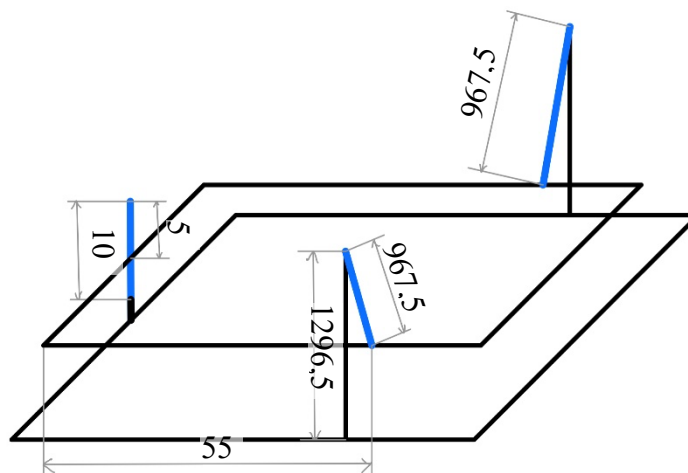
Po volbě nejvhodnější varianty č. 4 jsem zjišťoval optimální rozložení úchytů kokpitu. Pro nejvhodnější konstrukční rozměry jsem měnil délky uchycení a délky sloupků. Na základě toho jsem vypočetl náklony, z nichž jsem určil optimální nastavení. V tabulce jsou znázorněné změny délek a vliv na náklony celého kokpitu. Tabulka č. 4 (viz. příloha č. 2)



51 Rozměry využití v tabulce

Tuto hodnotu jsem dále upravoval z hlediska délek fluidních svalů k maximálním možnostem komponentů a nosníků. Následně jsem dopočetl výsledné náklony a tíhové zrychlení, která bude mnou navržený simulátor dosahovat. Tyto výsledné hodnoty, se kterými jsem navrhoval a vytvářel výsledný model, jsou uvedeny v tabulce č. 5. (viz. příloha č. 2) a zaneseny v obrázku (obr. 51). V této tabulce je zahrnuta vždy horní a spodní hodnota délky fluidních svalů a pístu, kterých je možné dosáhnout při maximálním náklonu.

V tabulce jsem hodnoty náklonů počítal pomocí pravoúhlých trojúhelníků, kdy přeponu trojúhelníku tvoří délka svalů, vč. pevných spojů svalů a odvěsnou je vzdálenost kokpitu od bočních nosných tyčí. Na závěr jsem dopočetl náklon kokpitu na boky a vpřed / vzad. K tomu jsem dopočetl žádané hodnoty přetížení při náklonu kokpitu.



52 Výsledné rozměry pro konstrukci simulátoru v počáteční poloze

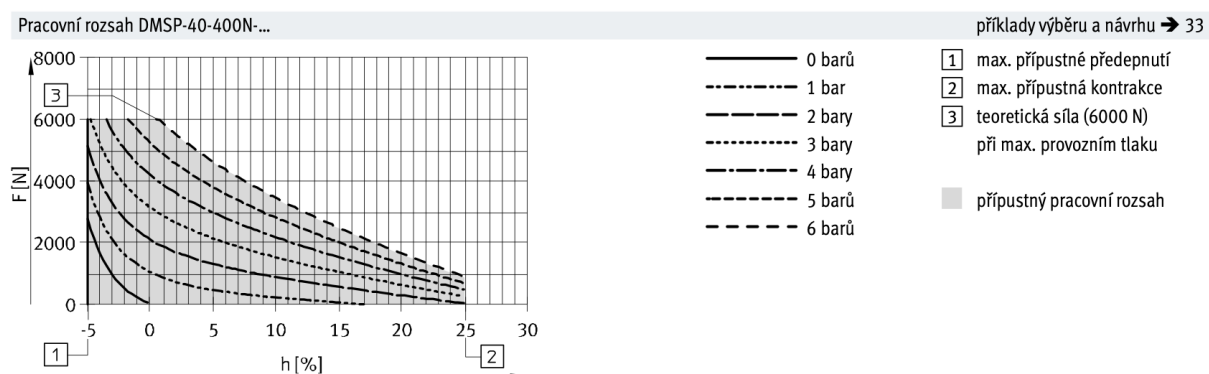
Výsledná vypočtená délka fluidního svalu je 750 mm bez úchytů a vypočtený rozsah DGC pohonu je 100 mm. V počáteční poloze kokpitu je fluidní sval zkrácen o 11 %, což odpovídá 668 mm. Pro DGC pohon je počáteční hodnota nastavena v 50 mm, což odpovídá polovině chodu pístu. Pro nastavování Fluidních svalů a DGC pohonu do požadovaných poloh jsem využil proporcionálního regulátoru tlaku. V počáteční poloze je kokpit 300 mm nad podlahou.

Jak již bylo uvedeno, kvůli rychlosti odezvy technologie jsem volil dva Fluidní svaly a jeden DGC pohon, které jsou pro mé řešení nejvhodnější a zároveň bezpečné. Pro chod zařízení je potřeba využít stlačeného vzduchu, což bude zajišťovat kompresor.

3.4 Volba kompresoru

Mým požadavkem bylo volit takový kompresor, který bude mít tichý chod, aby ho bylo možné umístit poblíž vlastní konstrukce simulátoru. Kompresor je obvykle spojen s tlakovou nádobou, tzv. vzdušníkem, který slouží k akumulaci stlačeného vzduchu. Kompresor lze ponechat ve větší vzdálenosti od simulátoru kvůli rušení hlukem a použít delší propojovací hadici. K napájení kompresoru je použito běžné napětí 230V z el. zásuvky. Stlačený vzduch pro pohony bude rozveden po konstrukci simulátoru hadicemi a kompresorová jednotka bude dle potřeby umístěná dále od kokpitu pro snížení hlučnosti.

V katalogu Festo jsem vyhledal nosnost použitých fluidních svalů graf (obr. 53) a z toho jsem určil vhodný kompresor s minimálním tlakem 6 barů a výtlačným výkonem 200 l/min.



53 Grafy závislosti síly na tlaku

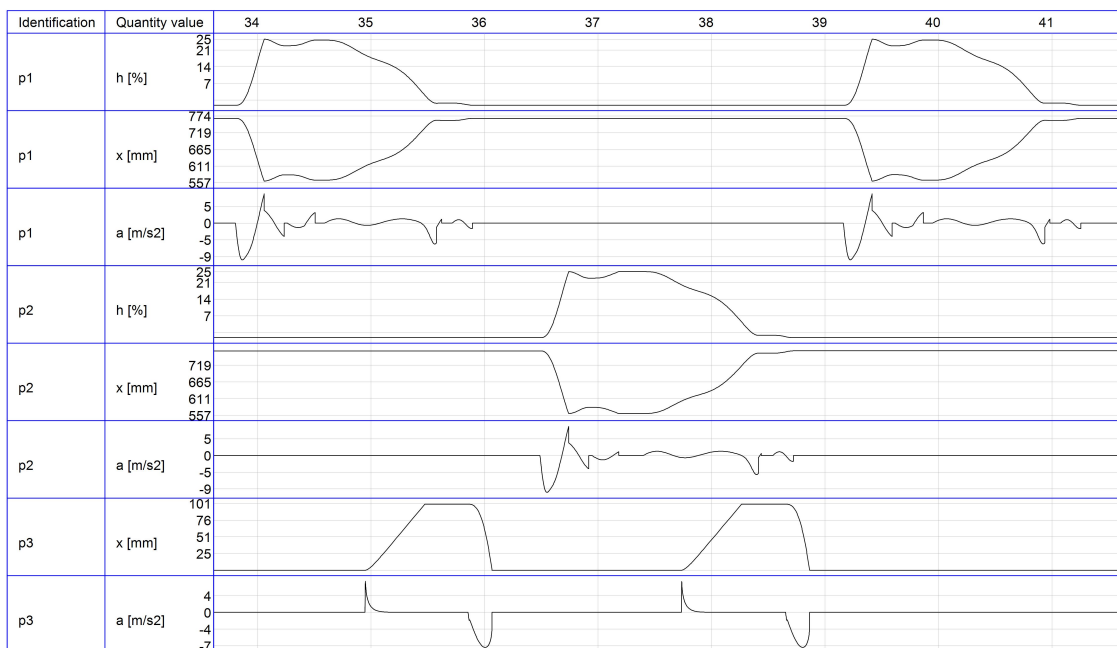
Po zvážení všech výše uvedených požadavků jsem zvolil tichý pístový, bezolejový kompresor Remeza C-24.OLD15 s parametry: objem vzdušníku 24 l, maximální tlak 8 barů, výtlačný výkon 200 l/min. a napětí 230V 50Hz. Maximální hlučnost tohoto kompresoru je 68 dB.



54 Kompresor s tichým chodem a vzdušníkem [21]

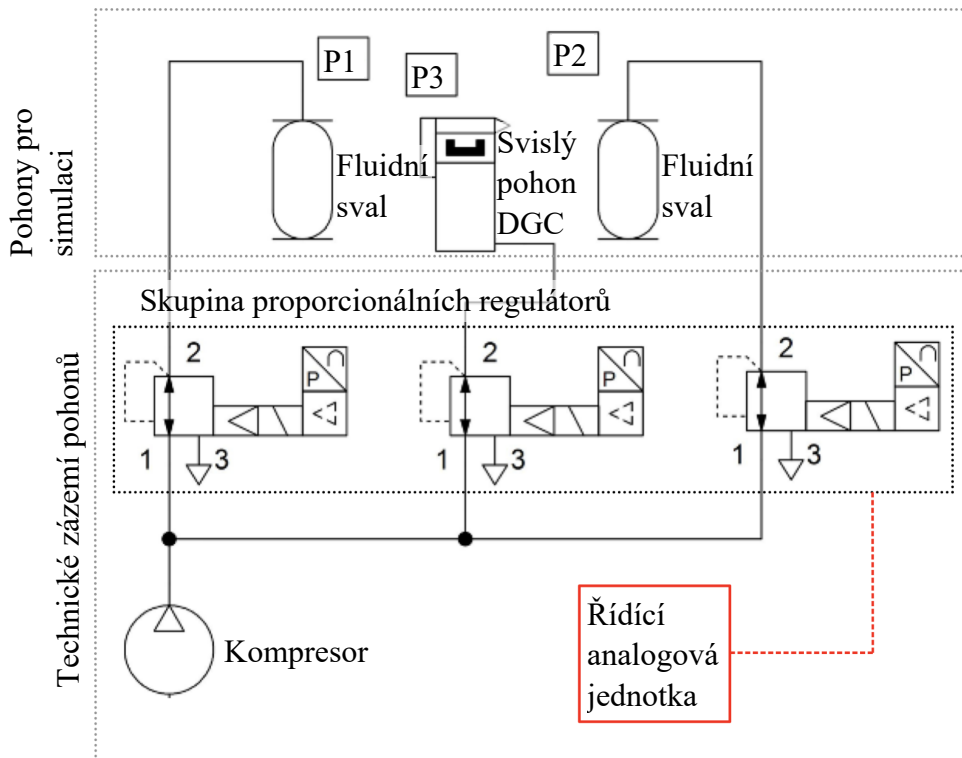
3.5 Návrh kompletního simulátoru

V dalším kroku jsem navrhl schéma zapojení pneupohonů. Ze simulačního programu FluidSIM jsem získal graf zrychlení při maximálním zatížení pro mnou použité fluidní svaly, DGC pohon a kompresor. Z grafu na (obr. 55) je patrné, jak simulátor dokáže reagovat na změny se zrychlením 5 ms^{-2} , což v mém případě znamená, že z počáteční polohy do koncové polohy po sepnutí se pohony dostanou za 0,5 s. Simuloval jsem postupné spínání jednotlivých pohonů. Kde p1 a p2 jsou fluidní svaly a p3 je DGC. Výsledek testu je na (obr. 1). Kdy h je procentuální zkrácení, x je aktuální délka, zrychlení v daný moment je označené a .



55 Graf zrychlení a polohy ze simulace

Následující obrázek představuje mnou zvolené schéma pohonů a řízení simulátoru. Ovládání pohonů je zajištěno 3 proporcionálními regulátory tlaku.



56 Schéma částí simulátoru

V dalším kroku jsem řešil optimální návrh kokpitu. Kokpit bude sestaven z nosníků 40x40 (viz. kapitola 3.1), které budou nést sedačku, monitor, volant a všechna příslušenství. Příslušenství se bude pohybovat zároveň s kokpitem. Pro nesení monitoru jsem volil nosník 80x40 (viz. kapitola 3.1) pro lepší stabilitu a zamezení klepání monitoru. Samotný monitor bude přichycen pomocí VESA uchycení. Vypočetl jsem také maximální hmotnost kokpitu včetně člověka, která je 175,7 kg.



57 Kokpit

Dolní podstavec bude vyroben z nosníků 40x80 pro zajištění vyšší stability. K podstavci bude připevněn zadní nosník pístu 80x80 (viz. kapitola 3.1) K podstavci budou dále namontovány dva nosníky svislé pro nesení fluidních svalů.

Délka nosníku od bočních podpěr uchycených v úhlu 45° k podstavě po horní uchycení pístu je 980 mm. Boční zatížení nosníku na ohyb je 400 N po přepočtení. Z katalogu [1] je známo, že moment setrvačnosti nosníku je 950400 mm² a modul pružnosti je 120 GPa.

Kontrola průhybu nosníků je podle vzorce: Mohrova integrálu.

$$h_{pruhyb} = \frac{1}{EJ} \cdot \int_0^l (M \cdot x + m \cdot x) dx = \frac{1}{120.950400} \cdot \left(400 \cdot \frac{980^2}{2} + 1 \cdot \frac{980^2}{2} \right)$$

$$= \mathbf{1,69 \text{ mm}}$$

Z výpočtu je známo že se nosník ohne o 1,69 mm.

Pro zajištění vyšší pevnosti a stability zařízení bude horní část kokpitu přepažena profilem 40x40 který zajistí boční nosníky Fluidních svalů proti ohybu.



58 Nosná konstrukce kokpitu

Výše bylo popsáno, jak bude konstruován nosný rám kokpitu. Po spojení kokpitu a nosného rámu pomocí dvou fluidních svalů a zadního DGC pohonu byla navržena finální konstrukce simulátoru. Dva Fluidní svaly budou uchyceny k rámu kokpitu spojkami a připojeny pomocí šroubů a vyvrtaných děr do nosníku. Spodní podpůrné profily na nosníku v úhlu 45° budou uchyceny pomocí vnitřních spojek v úhlu 135°. Pro

spojení soustavy v pravém úhlu využiji úhlových spojů se šroubem a vnitřní maticí, kde není vrtání nutné (viz. kapitola 3.1).



59 Sestavený kompletní simulátor [2]

Pohodlný nástup a výstup do simulátoru jsem řešil pomocí kolejnic, po nichž se použitá sedačka Playseat posune dozadu a řidič nastoupí. Poté se řidič přisune po kolejnicích podle své potřeby pro pohodlné dosažení na pedály a volant (všechny navržené ovládací prvky byly popsány výš (viz. kapitola 3.1)).

V případě nutnosti převozu je simulátor rozebíratelný, způsobem kdy se kokpit uvolní od kloubové hlavice pomocí čepů s pojistným kroužkem (viz. kapitola 3.1). Od zadního DGC pohonu se kokpit uvolní pomocí 4 šroubů. Nosníky, které jsou podporou pro fluidní svaly, lze také odmontovat, jak bylo zmíněno (viz kapitola 3.1). pomocí šroubů a matic uložených v drážkách. Díky tomu lze kompletně rozebíratelné zařízení pohodlně převážet.

4. Závěr

Cílem této práce bylo v první řadě určit základní pohyby, které na člověka působí při jízdě automobilem. Dalším úkolem bylo prověření funkčnosti konstrukčních prvků v již existujících simulátorech, popis druhů a vlastností existujících simulátorů a návrh parametrů, které by měl navrhovaný simulátor dosahovat. Nastudoval jsem dostupnou literaturu a díky získaným znalostem jsem teoreticky rozebral jednotlivé prvky, které se v simulátoru mohou nacházet. Podrobně jsem nastudoval konstrukci existujících druhů simulátorů. Sledoval jsem zejména, jakým způsobem je možné simulovat pohyby reálných automobilů v kompaktních rozměrech simulátoru. Parametry, které vykazují kompaktní simulátory, jsem porovnal s parametry halových simulátorů velkých rozměrů. Díky těmto znalostem jsem mohl dále prověřovat, jakým nejvhodnějším způsobem tyto síly nasimulovat, při využití kompaktního a rozebíratelného zařízení, jehož návrh byl cílem této práce. Požadavkem také bylo, aby navržené řešení vykazovalo vysokou rychlost odezvy, pohodlnou ovladatelnost, nízkou hmotnost a bezpečnost uživatele. Z těchto důvodů mne napadlo v praktické části použít zařízení s lehkou konstrukcí z hliníkových normalizovaných profilů. Pro simulaci pohybů automobilu jsem se rozhodl s výhodou využít Fluidních svalů od firmy Festo. Testoval jsem různé konstrukční varianty a hledal neoptimálnější řešení za pomoci potřebných výpočtů délek částí konstrukce. Také bylo nutné vybrat nejvhodnější typy Fluidních svalů, jejich uchycení k hliníkové konstrukci a případně jejich kombinaci s dalšími konstrukčními prvky. Díky potřebným výpočtům jsem při konstrukci vlastního simulátoru navrhl optimální pohony, které budou schopné zaručit pohyb simulátoru a zároveň nebudou příliš hmotné. Vzhledem k mému studiu simulace sil, které působí na automobil při jízdě, jsem navrhl optimální řešení simulátoru. Testoval jsem čtyři varianty vlastních řešení. Druhý variantní návrh byl z pohledu dosažení reálných náklonů ideální. Jeho velkou nevýhodou však byly síly, které přesahovaly únosnost konstrukce, a zároveň by byl tento simulátor konstrukčně velmi náročný. Z těchto důvodů jsem toto řešení v původní podobě zamítl, ale přepracoval jej do finální podoby za použití dvou fluidních svalů a jednoho DGC pohonu. Pro tuto vybranou variantu jsem pak navrhl optimální rozměry a veškeré konstrukční prvky. V programu FluidSIM jsem nasimuloval fungování svalů a pístu. Mnou navržený simulátor náklonem vyvolává stavy, které jsou patrné i při reálné jízdě autem. Výsledkem mé práce je funkční kompletně rozebíratelné zařízení, které lze v případě potřeby pohodlně převážet. Hlavní cíle a požadavky této práce byly splněny.

Při dalším pokračování této práce je možné navržený simulátor sestavit a v praxi doladit či vylepšit konstrukční i spojovací prvky. V dalším kroku je možné navrhnout samotnou ovládací (výpočetní) jednotku pro simulaci. Po odzkoušení bude možné vyrobit již plně funkční prototyp simulátoru, k němuž by bylo možné dále sestavit návod, ve kterém by byl popsán postup při sestavování a rozkládání simulátoru. V návodu by bylo také popsáno vlastní použití simulátoru a seznam prvků které jsou ke stavbě nutné. Poté by bylo možné simulátor sériově vyrábět a distribuovat jej rozložený se všemi konstrukčními prvky i návodem k použití pro domácí trénink studentů autoškoly.

Zkratky a definice prvků

Kokpit – také kabina, prostor pro řidiče s vybavením (sedačka, volant, aj.), vše je uchyceno na pohonech které s kokpitem pohybují.



Podstavec a nosná konstrukce – nosné sloupky a základna simulátoru



Pohony – prvky které pohybují s celým kokpitem a jsou uchycené na nosné konstrukci. Pneumatické válce, fluidní svaly, elektrické válce, atp.

Složený simulátor – simulátor se všemi prvky (pohony, podstavec a nosná konstrukce)



VESA – univerzální uchycení monitoru pomocí čtyř šroubů

VR – virtuální realita počítačem zprostředkována

VDM – dynamický model vozidla

DGC – označení rovinného bezpístnicového válce

DMSP – označení fluidního svalu

Použitá označení

F	síla	[N]
m	hmotnost	[kg]
a	zrychlení/zpomalení	[m/s ²]
G	síla tíhového zrychlení	[N]
X, Y a Z	základní souřadnicový systém	[-]
F _a	síla při akceleraci	[N]
F _b	síla při brždění	[F]
F _s	setrvačná síla	[F]
F _o	odstředivá síla	[F]
F _k	celková síla	[F]
M	moment	[Nm]
R	poloměr	[mm]
h	zkrácení / poloha pístu a výška nad vozovkou	[mm]
φ	úhel mezi silou a svislou rovinou	[°]
g ₂ , g ₁	tíhové zrychlení při náklonech	[m/s ²]
h ₁ , h ₂ , h ₃	výšky ve kterých jsou uchycené svaly a píst	[mm]
l ₁ , l ₂ , l ₃	vodorovné vzdálenosti uchycení	[mm]
l _{p0} , l _{p1} , l _{p2} , l _{p3}	délky pístů v počáteční pracovní poloze	[mm]
h _{pruhyb}	průhyb nosníku	[mm]

Seznam obrázků

1 Hexapod [3]	- 7 -
2 Síly a pohyby vozu [6].....	- 8 -
3 Síly při akceleraci [6].....	- 9 -
4 Síly při brždění	- 10 -
5 Síly při průjezdu zatáčkou [6].....	- 10 -
6 Síly při akceleraci a průjezdu zatáčkou [6].....	- 11 -
7 Síly při simulaci náklonu při zrychlení [3]	- 11 -
8 Síly při simulaci náklonu při brždění [3]	- 12 -
9 Síly při simulaci náklonu při zatáčení.....	- 12 -
10 Statické simulátory [8].....	- 13 -
11 Otočný simulátor [9].....	- 14 -
12 Halový simulátor [5].....	- 14 -
13 Hlavní podsystémy simulátoru [6].....	- 16 -
14 Sedačka Playseat [11]	- 17 -
15 Osy pohybů otáčení	- 17 -
16 Monitory pro zobrazení simulace [13][19].....	- 18 -
17 Zobrazení pomocí dataprojektorů [18]	- 19 -
18 VR brýle [20]	- 19 -
19 Profil 40x40 - 104040 profil pro kokpit [1].....	- 20 -
20 Profil 40x80 - 104080 pro nosníky a podstavu kokpitu [1].....	- 21 -
21 Profil 80x80 - 108080 pro píst DGC [1].....	- 21 -
22 Fixační úhelník 30x76 – 303876 [1].....	- 21 -
23 Fixační úhelník 74x76 – 307476 [1].....	- 22 -
24 Úhlová spojka 135° [1].....	- 22 -
25 Externí konektor [1].....	- 23 -
26 Spojovací šroub M8 DIN 7984 – 200816 [1]	- 23 -
27 Matice s pružinou 40 – 210482 [1].....	- 23 -
28 Sedačka Playseat [11]	- 24 -
29 Lyžiny pro posun sedačky [15].....	- 24 -
30 Monitor samsung C27F396 [13].....	- 24 -
31 Volant Logitech G29 driving force [10].....	- 25 -
32 Řadící páka Logitech driving shifter [10].....	- 25 -

33 Fluidní sval DMSP 40 - 687N [7].....	- 25 -
34 Kloubové hlavice pro uchycení kokpitu a ložiskové těleso [7].....	- 26 -
35 Rovinný píst DGC 50-10 [7]	- 26 -
36 Upevnění roviného pístu [7]	- 26 -
37 Fluidní sval a graf síly na rozsahu [7].....	- 27 -
38 Uchycení a přívod vzduchu fluidního svalu [7].....	- 28 -
39 Pneumatický válec s pístem a příslušenství [7]	- 28 -
40 Přímočaré pohony DGC s vedením s příslušenstvím [7].....	- 29 -
41 Elektrické válce a jejich příslušenství [7]	- 29 -
42 Návrh 1. rozložení fluidních svalů.....	- 31 -
43 Kinematické schéma návrhu 1.....	- 31 -
44 Návrh 2. rozložení fluidních svalů.....	- 32 -
45 Kinematické schéma návrhu 2.....	- 32 -
46 Znázornění označení délek jednotlivých prvků z tabulky	- 33 -
47 Návrh 3. rozložení fluidních svalů.....	- 34 -
48 Kinematické schéma návrhu 3.....	- 34 -
49 Návrh 4. rozložení fluidních svalů v kombinaci DGC pohonu.	- 35 -
50 Kinematické schéma návrhu 4.....	- 36 -
51 Rozměry využití v tabulce	- 36 -
52 Výsledné rozměry pro konstrukci simulátoru v počáteční poloze.....	- 37 -
53 Grafy závislosti síly na tlaku	- 38 -
54 Kompresor s tichým chodem a vzdušníkem [21]	- 38 -
55 Graf zrychlení a polohy ze simulace.....	- 39 -
56 Schéma částí simulátoru	- 40 -
57 Kokpit	- 40 -
58 Nosná konstrukce kokpitu	- 41 -
59 Sestavený kompletní simulátor [2]	- 42 -

Seznam zdrojů

- [1]. Alutec – Online katalog – Dostupné z: <https://katalog.aluteckk.cz>
- [2]. Autocad Inventor – Online knihovna prvků pro– Dostupné z: <https://grabcad.com>
- [3]. Collins D.: What are hexapod robots (also referred to as Stewart platforms)?: 2018. Dostupné z: <https://www.linearmotiontips.com>
- [4]. Dof Reality – Online katalog – Simulátory. Dostupné z: <https://dofreality.com>
- [5]. Evans A.: This id What an \$80m Driving Simulator Looks Like: 2020. Dostupné z: <https://www.gtplanet.net>
- [6]. Fernández, J.G.: A Vehicle Dynamics Model for Driving Simulators (thesis). Göteborg: Chalmers Univerzity of Technology, 2012. ISSN 1652-8557.
- [7]. FESTO – Online katalog – Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products
- [8]. Chamoiseau C.: Best Racing Simulator Seats & Cockpits: The Ultimate Buyer's Guide 2021: Dostupné z: <https://topgamingchair.com/racing-simulator-seat/>
- [9]. Juni: Racing Cube Motion Simulator: 2019. Dostupné z: <https://bestracingblogs.blogspot.com>
- [10]. Logitech – Online katalog – Dostupné z: <https://www.logitech.com/cs-cz#>
- [11]. Playseat – Online katalog – Dostupné z: <https://playseat.com>
- [12]. Rseat – Online katalog – Simulátory Dostupné z: <https://www.rseat-europe.com>
- [13]. Samsung – Online katalog – Dostupné z: <https://www.samsung.com/cz/>
- [14]. Simcraft – Online katalog – Simulátory APEX, Racing Simulators, Advanced Motion Tech: Dostupné z: <https://www.simcraft.com>
- [15]. Sportovní autodoplňky – online katalog – Dostupné z: <https://www.sportovniautodoplňky.cz>
- [16]. Thöndel E.: Design and Optimal Control of a Linear Electromechanical Actuator for Motion Platforms With Six Degrees of Freedom New York: Springer, 2011
- [17]. Thöndel E.: Simulating Motion Effects Using a Hydraulic Platform with Six Degrees of Freedom Prague: 2008
- [18]. tradeKorea – Online katalog – Dostupné z: <https://www.tradekorea.com/>
- [19]. X-plane.org – Online forum - <https://forums.x-plane.org>
- [20]. Vive – Online katalog – Dostupné z: <https://www.vive.com/us/>
- [21]. 2e kompresory – Online katalog – Dostupné z: <https://www.2e-kompresory.cz>

Přílohy

- [1]. Výkres sestavy
- [2]. Výpočetní tabulky
- [3]. CD disk