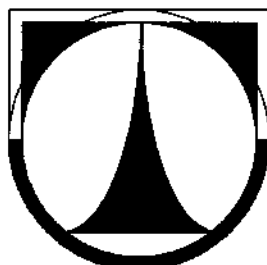


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra vozidel a motorů



AUTOMATIZACE JÍZDNÍCH ZKOUŠEK
AUTOMATION OF DRIVING TESTS
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Jan Hodbodř

Červen 2010

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra vozidel a motorů



Obor 2302T010
Konstrukce strojů a zařízení
Zaměření
Kolové dopravní a manipulační stroje

AUTOMATIZACE JÍZDNÍCH ZKOUŠEK

AUTOMATION OF DRIVING TESTS

Diplomová práce

KSD – DP – 601
Jan Hodbod'

Vedoucí diplomové práce: Ing. Robert Voženílek - KVM-TUL
Konzultant diplomové práce: Ing. Pavel Brabec - KVM-TUL

Počet stran: 64
Počet obrázků: 57
Počet příloh: 0
Počet výkresů: 6

Červen 2010

AUTOMATIZACE JÍZDNÍCH ZKOUŠEK

Anotace

Diplomová práce se zabývá problematikou automatizace jízdních zkoušek. Práce je zaměřena na konstrukci robotizovaného systému, který je schopen ovládat automobil. Nejprve je analyzována a popsána aktuální nabídka těchto systémů na trhu. Dále jsou navrženy konstrukční varianty možných řešení a finálně vybrány nejvýhodnější, ze kterých je namodelován robotizovaný systém ve 3D prostředí. U klíčových prvků jsou provedeny pevnostní výpočty.

Klíčová slova: robot, automatizace, jízdní zkoušky

AUTOMATION OF DRIVING TESTS

Annotation

The diploma thesis deals with the automation of driving tests. The work is focused on the construction of robot system which is able to control the car. First, the current offer of these systems on the market is analyzed and described. Furthermore, the design options of possible solutions are proposed and finally the best are selected and from them the robotic system in 3D environments is modeled. The stress analysis by key elements are performed.

Key words: robot, automation, driving tests

Desetinné třídění:

Zpracovatel:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno :

2010

Archivní označení zprávy:

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum 28.5. 2010

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem, díky kterým mohla vzniknout tato závěrečná práce. Především pak Ing. Robertu Voženílkovi za vedení a usměrnění mé práce a Ing. Pavlu Brabcovi za konzultanskou činnost. Nemenší dík patří i mojí rodině a přátelům za podporu během celého studia.

Seznam symbolů a jednotek

m	hmotnost	[kg]
s	dráha	[km]
V	litry	[l]
F	síla	[N]
t	čas	[s]
M	kroutící moment	[Nm]
v	rychlost	[m/s]
	délka	[mm]
f	součinitel tření	[-]
d, D	průměr	[mm]
e	ekcentricita	[mm]
k	součinitel bezpečnosti	[-]
γ	úhel stoupání	[°]
φ	třecí úhel	[°]
p	tlak	[MPa]
l	délka	[mm]
σ	napětí	[MPa]
s	plocha	[mm ²]
J	kvadratický moment	[mm ⁴]
i	kvadratický poloměr	[mm]
λ	štíhlostní poměr	[-]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]

Obsah

1	Úvod	10
2	Teoretická část	11
2.1	Automatizace jízdních zkoušek.....	11
2.2	Zkoušky vozidel	11
2.3	Vozidlové zkušebny	12
2.4	Robotizace	14
2.5	Zkoušky na zkušebnách	14
2.5.1	Měření emisí	14
2.5.2	Test spotřeby paliva	15
2.6	Zkoušky na dráze.....	16
2.6.1	Ovladatelnost	16
2.6.2	Příklad subjektivní zkoušky ovladatelnosti.....	17
2.7	Produkty na trhu	18
2.7.1	Horiba.....	18
2.7.2	Froude Hofmann	19
2.7.3	Anthony Best Dynamics	20
2.7.4	Stähle	23
2.7.5	Dr.-Ing. S. Haußmann Industrieelektronik	27
2.8	Určení směrů.....	29
2.9	Orientačně změřené zástavbové prostory	29
3	Konstrukční část	31
3.1	Stručný popis částí řídicího robota.....	31
3.2	Varianty řešení	32
3.2.1	Kostra (rám)	32
3.2.2	Ovládní pedálů	34
3.2.3	Ovládání řazení	36
3.2.4	Ovládání řízení	40
3.3	Výběr variant a vlastní řešení robota	41
3.3.1	Nosný rám	41
3.3.2	Pohony	43
3.3.3	Táhla k pedálům	47
3.3.4	Pedálové botky	48
3.3.5	Ovládání řazení	48
3.3.6	Ovládání řízení	49
3.3.7	Celkový pohled na robota	51
3.4	Pevnostní analýza	52

3.4.1	Zatížení rámu	52
3.4.2	Zatížení opěrky	54
3.4.3	Kontrola svěrných spojů	56
3.4.4	Kontrola teleskopické tyče na vzpěr	61
4	Závěr	63
	Seznam použité literatury	63

1 Úvod

S automatizovanými systémy se v současné době setkáváme dnes a denně. Automatizace jako taková pronikla ve větší či menší míře v podstatě do všech průmyslových odvětví. Nejinak tomu je v automobilovém průmyslu. V tomto případě se naopak jedná o segment, kde se tato forma urychlení a zpřesnění výroby či montáže stále vyvíjí a nabízí, ještě před několika lety nemyslitelné možnosti a řešení. V mé diplomové práci se věnuji odvětví testování a jízdních zkoušek. Zde existuje nesčetně množství možností k zavedení automatizace, která přispívá ke zlepšení a zkvalitnění výsledků. Konkrétně se budu věnovat robotickým systémům, které jsou schopny ovládat automobil, ať už na dráze nebo na zkušebně. Mým úkolem bude zanalyzovat nabídku výrobců těchto systémů a popsat jejich produkty. Dále se budu zabývat vlastním návrhem takového systému. Navrhnu varianty jednotlivých konstrukčních uzlů, ze kterých vyberu ty nejvhodnější. Dalším úkolem bude tyto varianty namodelovat a sestavit ve virtuálním 3D prostředí do výsledného modelu robotizovaného systému. U zatížených částí provedu kontrolní výpočet nebo simulaci metodou konečných prvků.

2 Teoretická část

2.1 Automatizace jízdních zkoušek

"Automatizace snižuje potřebu přítomnosti člověka při vykonávání určité činnosti" [5] V odvětví automobilového průmyslu má automatice svoji neotřesitelnou pozici. Může se jednat o fázi výroby, odkud známe např. svařovací roboty, manipulační roboty, či podavače, atd. Na druhé straně se automatizace uplatní ve fázi testování. Svoji úlohu hraje opakovatelnost zkoušek a tím i přesnost dosažených výsledků.

Pokud bychom se měli spoléhat jen na lidský faktor, tak ani sebezkušenější řidič nedokáže odjet dvakrát za sebou stejný jízdní test stejně. Při použití automatizovaných zařízení se přesnost opakování zvyšuje, a tím se snižují odchylky výsledků plynoucí z nepřesného ovládání.

2.2 Zkoušky vozidel

Zkoušením vozidel sledujeme, do jaké míry vozidlo vyhovuje předem stanoveným požadavkům - funkčním, ekonomickým, životnostním. Zkoušky motorových vozidel lze rozdělit dle způsobu, jakým zkoušky provádíme, dle subjektů, na jakých zkoušky provádíme, dle podmínek, za jakých zkoušky provádíme, atd.

Základní dělení zkoušek lze provést na jízdní zkoušky (provozní) a na laboratorní zkoušky (funkční). Jízdní zkoušky dále můžeme rozdělit na dlouhodobé a krátkodobé.

Tab. 1 Rozdělení zkoušek vozidel z různých hledisek, VLK, F. 2001, strana: 4

Hledisko	Členění zkoušek motorového vozidla	
Výrobní fáze	výzkum	
	vývoj	vývoj spojený s projekcí schvalování typu
	výroba	kontrola přejímání
Cíl zkoušky	ověření funkce - krátkodobě	
	ověření životnosti a spolehlivosti	
Instituce	zkušební útvary výrobce	
	orgány odběratele - zákazníka	
	centrální ústavy, homologační zkušebny	
Předmět zkoušky	vozidlo jako celek	základní hmotnostní a rozměrové údaje
		výkonové vlastnosti, hospodárnost
		brzdné vlastnosti
		plavnost jízdy, pružící soustava
Podmínky	ústroj	hluk
		ovladatelnost (řiditelnost, stabilita)
		životnost a spolehlivost
		speciální zkoušky (průchodnost aj.)
Podmínky	díly	hnací soustava
		řídící ústrojí
		brzdy
Podmínky	zkoušky	nosné části
		např. tlumič, ráfek
		laboratorní, jízdní, provozní

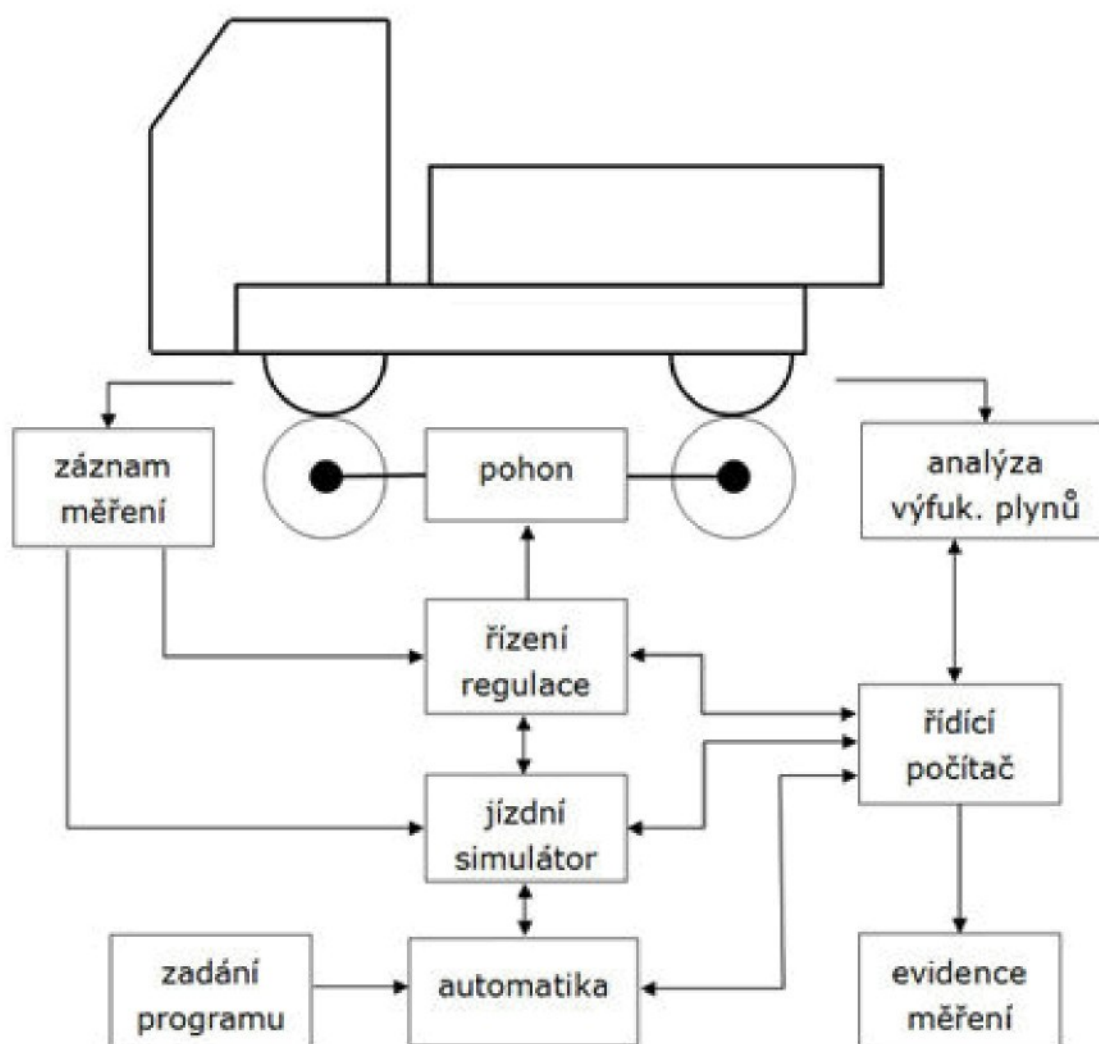
2.3 Vozidlové zkušebny

Při zkoušení vozidel se uplatňují vedle praktických jízdních zkoušek na polygonech či v provozu také testování ve vozidlových zkušebnách. Tímto lze testovat vlastnosti výkonové, funkční a brzdové. Toto stacionární zkoušení je založeno na principu stojícího vozidla a pod ním ubíhající "vozovky", čímž je dosaženo "pohybu" vozidla. Ubíhající vozovka je zde reprezentovaná otočnými

válci. Systém válců se liší dle zkušebny. Na válcích stojí kola buď hnací nápravy, všechna kola nebo kola nápravy, na které se testuje brzdný účinek. Zkoušení

v uzavřených zkušebnách zaručuje reprodukovatelnost zkušebních podmínek i výsledků. Kromě toho je možné simulovat různé jízdní stavy a toto samozřejmě přesně opakovat.

Zkoušení na stolicích má tudíž oproti venkovním jízdním zkouškám výhody jako konstantní klimatické a provozní podmínky, které lze v závislosti na druhu testu volit.



Obr. 1 Schéma uspořádání válcové vozidlové zkušebny, VLK, F. 2001, strana: 70

2.4 Robotizace

Robot je stroj pracující s určitou mírou samostatnosti, vykonávající určené úkoly, a to předepsaným způsobem a při různých mírách potřeby interakce s okolním světem a se zadavatelem. Robot je schopen své okolí vnímat pomocí senzorů, zasahovat do něj, případně si o něm vytvářet vlastní představu, model. Vnímáním světa nejenže může poznávat svět samotný, ale může také vyhodnocovat svůj vliv na něj a využívat tak zpětnou vazbu.

Termín robot se používá též pro počítačové programy, který za svého majitele provádí opakované činnosti.

2.5 Zkoušky na zkušebnách

2.5.1 Měření emisí

Emisní předpisy

V Evropě existují nezávisle na sobě dva paralelní legislativní systémy.

1. Předpisy Evropské hospodářské komise (EHK): předpisy EHK (nejen emisní) vznikají v rámci jednotlivých komisí, které se skládají ze zástupců jednotlivých zemí. O konečné schválení a vydání se stará OSN. Dodržování předpisů není automaticky povinné při vstoupení v platnost. Každá země si dle svých možností a potřeb termín zavedení může určit sama. Symbol hospodářské komise: **E**

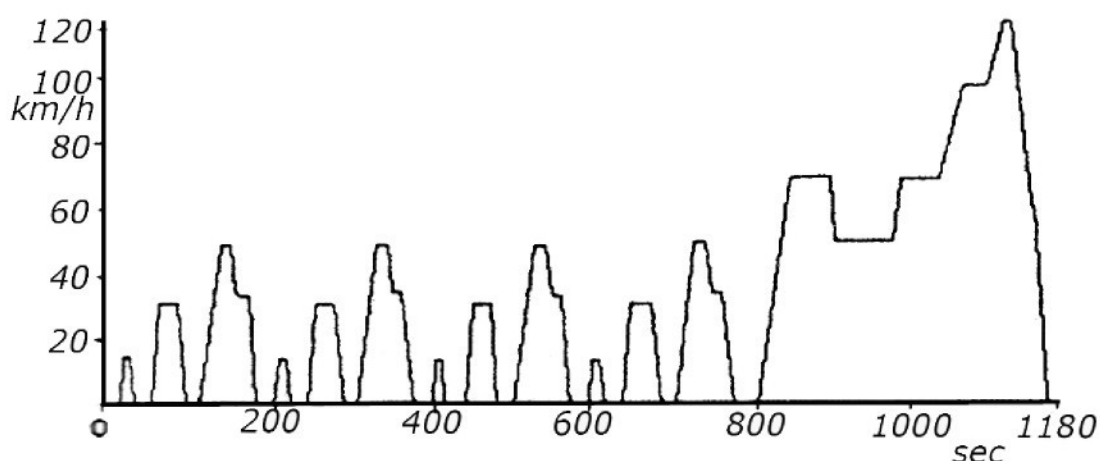
2. Směrnice EU: tyto směrnice jsou povinné pro všechny členské státy EU. Symbol evropské směrnice: **e**

Emisní test

Použití robotů se v tomto případě omezuje na předpis EHK 83, což je předpis pro automobily do 3,5 t. Hlavní přínos použití takovýchto automatických systémů je v tom, že zkouška se provádí při testu, který simuluje jízdu vozidla.

Použitím robota se tedy odstraní vliv lidského faktoru na chyby a nepřesnosti při testu. (U vozidel nad 3,5 t se testuje jen se samotným motorem na dynamometru, tudíž zde se takovýto robot neuplatní.)

Na obrázku 2 je znázorněn cyklus pro měření emisí dle EHK 83. Je to simulace jízdy kombinující městský provoz s rychlostí do 50 km/h a mimoměstský s rychlostí do 120 km/h. Délka cyklu je 11 007 m, doba trvání cyklu je 1 180 s, maximální rychlost 120 km/h a střední rychlost 34 km/h.



Obr. 2 Průběh jízdního testu EHK/EU pro měření emisí, VLK, F. 2001, strana: 515

2.5.2 Test spotřeby paliva

Spotřeba paliva je důležitým parametrem, který ukazuje hospodárnost vozidla. Je to parametr, jehož důležitost může hrát jednu z rozhodujících rolí při výběru automobilu. Zjišťuje se jak laboratorně, tak při jízdních zkouškách. Spotřeba paliva se u silničních motorových vozidel udává v litrech, které se spotřebují na ujetí dráhy 100 km.

Test probíhá tak, že vozidlo projíždí měřený úsek rychlostí 2/3 maximální rychlosti na nejvyšší zařazený rychlostní stupeň. Během testu je zakázáno řadit. Délka dráhy má být nejméně 5 km, přičemž poté se spotřeba na l/100 km vypočítá.

2.6 Zkoušky na dráze

2.6.1 Ovladatelnost

Pojem ovladatelnost v dynamice motorových vozidel vyjadřuje jízdní vlastnosti celkového charakteru v systému ŘIDIČ - VOZIDLO - OKOLÍ. Řidič ovládá vozidlo řízením, brzděním nebo akcelerací, přičemž na vozidlo mohou působit různé poruchy jako boční vítr, nerovnosti vozovky, atd. Cílem vývoje v oblasti ovladatelnosti je přizpůsobit vozidlo schopnostem řidiče, a tím zvýšit jeho aktivní bezpečnost.

Při zjišťování ovladatelnosti se používají tři metody:

1. Čistě subjektivní hodnocení: jízdní vlastnosti posuzuje pouze řidič na základě svých pocitů. Metoda nevyužívá žádných měřicích přístrojů, a proto její vypovídací hodnota, přesnost a reprodukovatelnost je velice omezena.

2. Subjektivní zkoušky ovladatelnosti: řidiči projíždí vozidlem zadanou dráhu, která je vytyčená kužely. Ovladatelnost se hodnotí dle rychlosti jízdy, vzdálenosti kuželů, apod.

3. Objektivní zkoušky ovladatelnosti: měří se chování pouze samotného vozidla, tzn. že vliv lidského faktoru řidiče je vyloučen. Vlastnosti vozidla se posuzují příslušným měřením odezev na předem definované ovládací úlohy. Z důvodu opakovatelnosti a přesnosti výsledků se řidič nahrazuje příslušným ovládacím "přístrojem".

Objektivní zkoušky ovladatelnosti mají asi největší význam pro posouzení vlastností vozidla a vlastností systému ŘIDIČ-VOZIDLO-OKOLÍ. Dále se také vyšetřuje vztah mezi subjektivní a objektivní ovladatelností.

K objektivnímu hodnocení ovladatelnosti se používají zejména tyto zkušební metody:

1. Brzdění při přímé jízdě
2. Ustálená jízda po kruhové dráze s konstantním natočením volantu
3. Přejezd nerovnosti při ustálené jízdě po kruhové dráze
4. Impulzové natočení volantu
5. Sinusové natáčení volantu
6. Změna zatížení motoru při ustálené jízdě po kruhové dráze
7. Brzdění při jízdě po kruhové dráze
8. Citlivost na boční vítr při nulovém natočení volantu

METODY ZKOUŠENÍ OVLADATELNOSTI

Brzdění při přímé jízdě

Ustálené zatáčení

Zatáčení přes ojedinělou nerovnost

Skokové natočení volantu

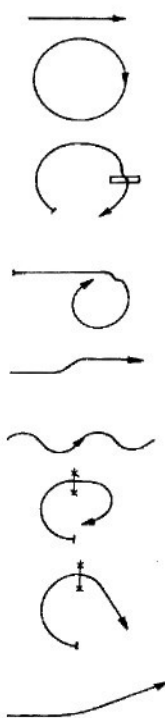
Impulsové natočení volantu

Harmonické natáčení volantu

Změna hnací síly při zatáčení

Brzdění při zatáčení

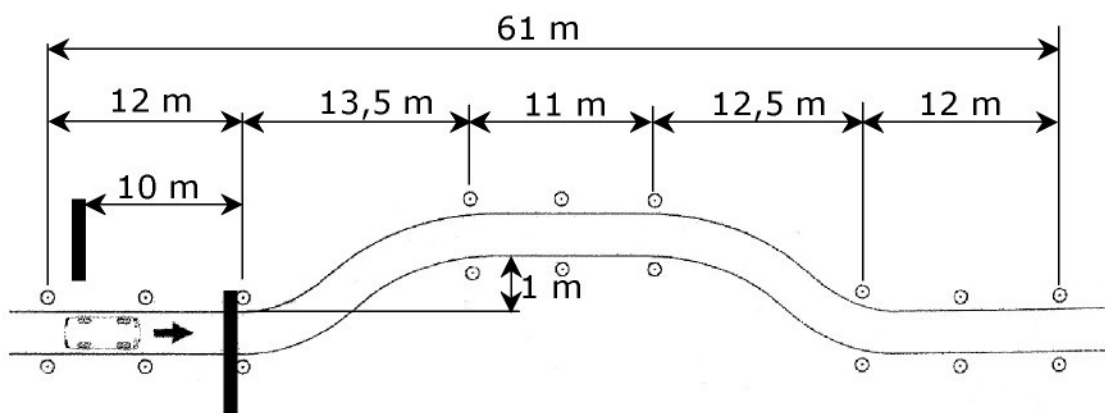
Citlivost na boční vítr při fixovaném volantu



Obr. 3 Objektivní metody zkoušení ovladatelnosti, VLK, F. 2001, strana: 172

2.6.2 Příklad subjektivní zkoušky ovladatelnosti

Tzv. Losí test je testem směrové stability vozidla. Při losím testu se hodnotí odezva na náhlé vybočení z původního směru vozidla. Testované vozidlo musí projet vytyčenou dráhu v rychlosti 90 km/h bez zařazeného převodového stupně, tzn. bez jakékoliv trakce nebo brzdění.



Obr. 4 Zkušební dráha pro vyhýbací manévr, VLK, F. 2001, strana: 207

2.7 Produkty na trhu

2.7.1 Horiba

Společnosti skupiny HORIBA poskytují širokou řadu přístrojů a systémů pro aplikace z oblasti výzkumu a vývoje v automobilním průmyslu, měření v chemických procesech, emisního a imisního měření, výroby polovodičů až po měření v oblastech vědeckého vývoje a výzkumu či řízení kvality.

Pro oblast testování vozidel nabízí tato společnost produkt ADS-7000.

Tento robot automaticky provozuje vozidla na vozidlovém dynamometru pomocí vysoce přesného sledování charakteristik. Opakovatelnost a přesnost je samozřejmě vyšší než schopnosti nejzkušenějších řidičů. ADS-7000 je určen pro emisní testy, testy spotřeby paliva a pro vytrvalostní testy, atd.



Obr. 5 Robot Horiba ADS-7000, www.horiba.com

Specifikace dle výrobce:

- použitelnost pro běžné osobní a lehké užitkové automobily
- zážehové, dieselové, hybridní, elektrické motory
- ovládání plynového, brzdového a spojkového pedálu, řazení a zapalování
- hmotnost 30 kg (možnost rozdělení na části po 10 kg)
- instalace 4 minuty, 3 minuty automatické nastavení
- levostranné i pravostranné řízení
- manuální, automatické i sekvenční řazení

Tab. 2 Ovládací síly a zdvihy, zdroj: vlastní

Akcelérátor	200 mm	160 N
Brzda	200 mm	220 N
Spojka	200 mm	410 N
Selektor	200 mm	220 N
Řazení	250 mm	220 N

2.7.2 Froude Hofmann

Froude Hofmann je dlouho zavedenou mezinárodní high-tech společností pro projektování a výrobu specializovaných zkušebních zařízení.



Obr. 6 Froude Hofmann Robot driver, <http://www.froudehofmann.com/>

Pro oblast testování vozidel je určen produkt Robot driver. Poskytuje automatizované funkce pro řízení vozidla na vozidlovém dynamometru ve škále testovacích aplikací. Jeho konstrukce a použité uhlíkové vlákno umožňuje snadnou manipulaci. Přesnost je opět na úrovni, kterou člověk není schopen zvládnout.



Obr. 7 Froude Hofmann Robot driver, <http://www.froudehofmann.com/>

Specifikace dle výrobce:

- zážehové, dieselové, hybridní, elektrické motory
- instalace do vozidla 3 minuty + další čas potřebný k nastavení
- lehká konstrukce
- levostranné i pravostranné řízení
- pro automatické, manuální i sekvenční řazení
- opakovatelnost plně kompatibilní s Euro IV/V
- ovládání plynového, brzdového a spojkového pedálu, řazení a zapalování

Ovládací síly ani zdvihy výrobce neuvádí.

2.7.3 Anthony Best Dynamics

Britská firma Anthony Best Dynamics (AB Dynamics) je dodavatelem pokročilých testovacích systémů pro globální automobilový průmysl, výzkum a vývoj a pro výrobní kontrolu kvality.

Pro testování na trati firma AB Dynamics nenabízí jednoho autonomního řídicího robota. Dodává jednotlivé robotické systémy pro ovládání jednotlivých částí, které můžou pracovat buď samostatně nebo dohromady. Celou skupinu nazývají In-vehicle roboti.

Řídicí robot

Je navržen pro použití při testování na dráze. Umožňuje široké spektrum řídicích vysoce přesných a opakovatelných vstupů. Vyrábí se v několika verzích dle výkonu elektromotoru.

SR30 - používá kartáčový stejnosměrný motor, je schopen vyrobít přes 35Nm točivého momentu.

60Nm Torus - patentovaný výrobek. Umožňuje aplikovat řídicí korpus přímo na volant a nevylučuje ani použití volantu s airbagem. Tímto mizí nutnost demontáže seriového volantu, čímž dochází k časové úspoře a jednoduchosti. K pohonu slouží střídavý motor s momentem až 60Nm. Při přejezdech mezi testy je možnost manuálního řízení pomocí integrovaného řídicího ráfku.

SR60 - bezkartáčový stejnosměrný motor, až 70Nm



Obr. 8 AB Dynamics SR30, <http://www.abd.uk.com/>



Obr. 9 AB Dynamics Torus Steering Robot, <http://www.abd.uk.com/>

SR 150 - až 150 Nm, vhodný pro autobusy a nákladní automobily

Brzdový robot

Je navržen pro ovládání brzdového pedálu pro potřeby testování brzdových soustav nebo k prosté kontrole rychlosti.

BR1000 - je navržen pro požadavky zkoušek, je schopen vyvodit vysokou rychlost a sílu. Přesností přesahuje schopnosti lidských řidičů. BR1000 zvládne až 1400 N při max. rychlosti 600 mm/s.



Obr. 10 AB Dynamics BR1000, <http://www.abd.uk.com/>

Akcelerační robot

Používá se buď ke kontrole rychlosti nebo při měření ovladatelnosti. Může být použit buď jako samostatný produkt, nebo s řídícím a brzdovým robotem

najednou. Ve spojení s ostatními je možné provést přesné a opakovatelné měření při dynamických zkouškách vozidel. K dispozici je několik druhů uspořádání, proto je možné rychlé namontování do většiny vozidel.



Obr. 11 AB Dynamics akcelerační robot s rotačním motorem, <http://www.abd.uk.com/>

Řadící a spojkový robot

Mohou být použity s ostatními systémy nebo samostatně s lidským řidičem. Výrobce neuvádí zdvih ani sílu pohonných motorů.



Obr. 12 AB Dynamics řadící robot, <http://www.abd.uk.com>

Tab. 3 Shrnutí ovládacích sil uváděné výrobcem, zdroj: vlastní

Volant	35 až 150 Nm
Brzda	1 400 N

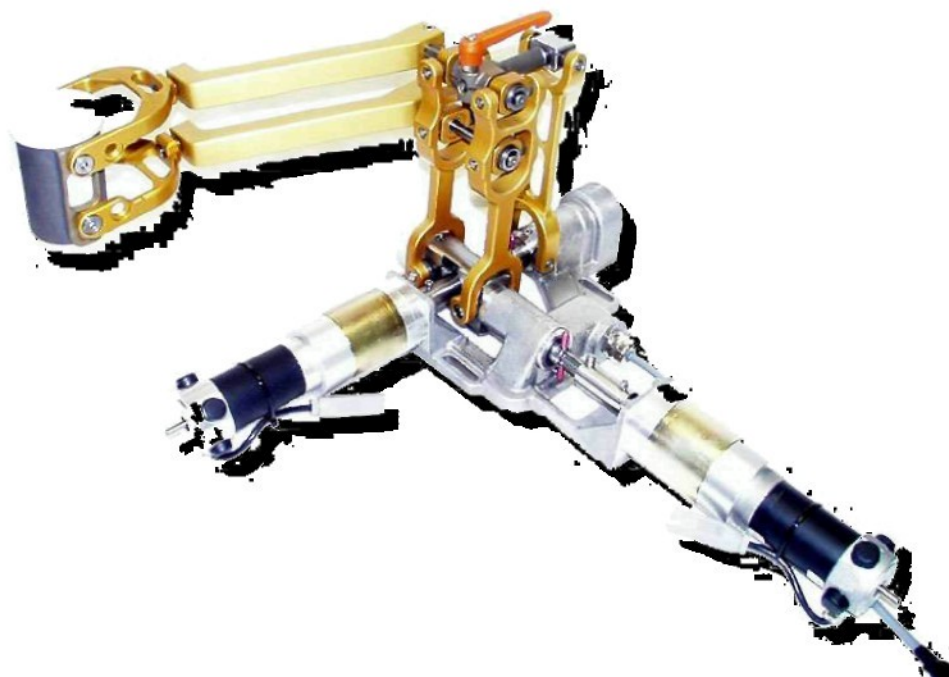
Pozn. Zdvihy a ostatní ovládací síly výrobce neuvádí

2.7.4 Stähle

Německá firma Stähle nabízí komplexní spektrum produktů a specializovaných řešení pro problémy spojenými s oblastmi měření, regulace a zdravotnické techniky. Pro oblast jízdních zkoušek firma nabízí jak autonomní řídicí systém, tak robotické systémy pro ovládání jednotlivých částí.

Řadící robot

AP-SA - standardní řadící systém pro řazení převodovek řízený počítačem. Tento robot je použitý v jednotce Autopilot.



Obr. 13 Stähle řadící robot, <http://www.stahle.com>

Tab. 4 Ovládací síly a zdvihy, zdroj: vlastní

Selektor	200 mm	max 250 N
Řazení	250 mm	

Řídící roboti

SSP2000, SSP3000- aplikace pro dynamické směřování vozidel při testech. Systémy se vyznačují vysokou přesností určení polohy a úhlové rychlosti. Model SSP3000 se vyznačuje možností montáže přímo na originální volant.

Tab. 5 Ovládací momenty, zdroj: vlastní

Řízení	28 až 93 Nm dle modelu
--------	------------------------



Obr. 14 Stähle SSP2000, <http://www.stahle.com>



Obr. 15 Stähle SSP3000, <http://www.stahle.com>

Pohony pedálů

Pohony jsou umístěné ve společné jednotce nebo samostatně. Jedná se o přímočaré aktuátory, které se liší ovládací silou pro jednotlivé pedály.

AP-G/2.10, AP-GB/.10 - pohon akcelérátoru, brzdy, uzpůsobený k ovládání ze sedadla řidiče

AP-G/FR.10, AP-B/FR - pohon akcelérátoru, brzdy, uzpůsobený k ovládání z podlahy automobilu.



Obr. 16 Stähle AP-GB/2.10, <http://www.stahle.com>



Obr. 17 AP-G/FR.10, <http://www.stahle.com>

Systémy Autopilot

Serie SFP - nabízí v podstatě to samé, jako obdobné produkty ostatních firem. Je určený pro měření výfukových emisí, palivové, klimatické, vytrvalostní testy, akustické testy atd. Splňuje požadavky na přesnost a reprodukovatelnost. Výrobce např. uvádí, že při testu emisí na vzdálenosti 17,86 km s odchylkou menší než 1 m, mají výsledky měření odchylku 0,05%.

Skládají se z výše uvedených jednotek a jsou složeny do jednoho ovládacího robota.



Obr. 18 SFP2000FF, <http://www.stahle.com>

Tab. 6 Ovladací síly a zdvihy, zdroj: vlastní

Akcelerátor	150 mm	100 N
Brzda	150 mm	350 N
Spojka	200 mm	200 N

2.7.5 Dr.-Ing. S. Haußmann Industrieelektronik

Dr.-Ing. S. Haußmann Industrieelektronik se od roku 1981 zabývá výrobou a vývojem inovativních produktů používaných pro zkoušení zařízení v automobilovém průmyslu, stejně jako pro různé aplikace v oblasti průmyslové elektroniky.

Pro aplikaci přímo v kabině automobilu jsou určeny pedálové aktuátory.

Aktuátor pro vozidlové pedály KA9100s

Specifikace dle výrobce:

- zařízení je k dispozici pro osobní i nákladní automobily
- plně elektronické se schopností "samoučení"
- pro každou spojku lze uložit vlastní charakteristika pohybu s ohledem na koncové body a záběrový bod
- možnost uložení až 32 různých souborů dat
- vhodné pro uložení na podlahu
- možnost omezení síly aktuátoru

Tab. 7 Ovládací síly a zdvihy, zdroj: vlastní

Pedál	250 mm	300 N
-------	--------	-------



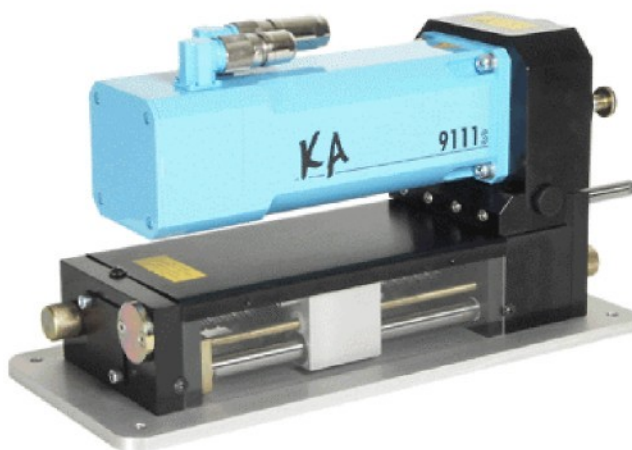
Obr. 19 S. Haußmann Industrieelektronik KA9100s, <http://www.sh-el.de>

Aktuátor pro vozidlové pedály KA9111s

Základní specifikace je prakticky stejná jako pro model KA9100s. Výjimka je pouze v použití jen pro osobní automobily.

Tab. 8 Ovládací síly a zdvihy, zdroj: vlastní

Pedál	160 mm	1250 N
-------	--------	--------



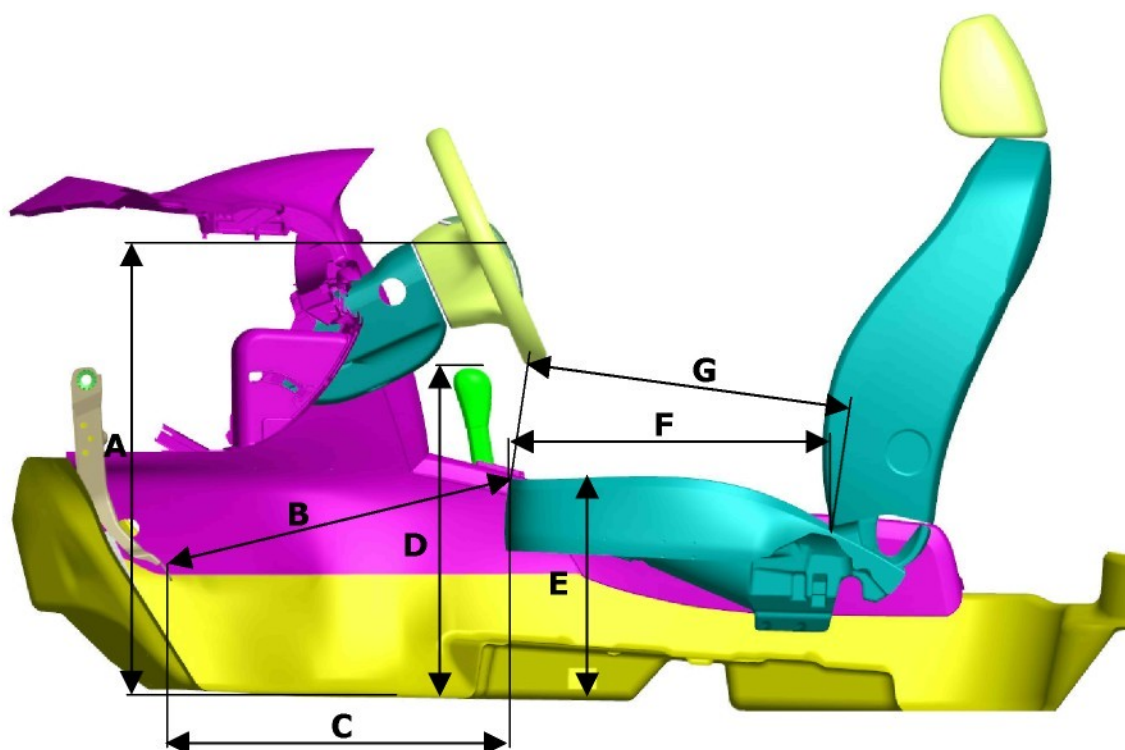
Obr. 20 S. Haußmann Industrieelektronik KA9111s, <http://www.sh-el.de>

2.8 Určení směrů

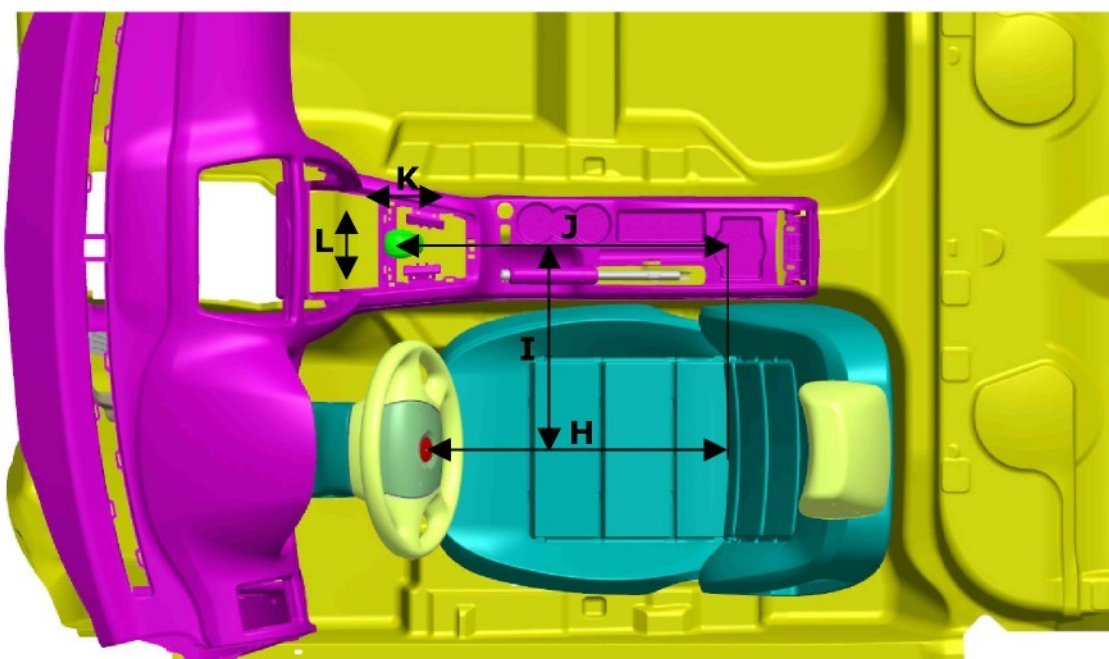
V dalším textu se vyskytují výrazy pro určení směru: příčný, podélný. Podélný je použit ve významu "ve směru jízdy", příčný potom kolmo ve vodorovné rovině k podélnému.

2.9 Orientačně změřené zástavbové prostory

Jako referenční vůz posloužil Škoda Octavia druhé generace. Při konstrukci vycházím z předpokladu, že v každém autě si průměrný řidič dokáže najít přibližně stejnou pozici za volantem. Ostatní odchylky řeší stavitelné části robota.



Obr. 21 Svislé a podélné zástavbové rozměry, zdroj: vlastní



Obr. 22 Svislé a příčné zástavbové rozměry, zdroj: vlastní

Tab. 9 Tabulka rozměrů k obr. 21 a 22, [mm], zdroj: vlastní

A	B	C	D	E	F
640 - 670	340 - 580	290 - 560	480	310 - 350	510
G	H	I	J	K	L
530	420 - 720	340	390 - 620	120	70

A ... svislá vzdálenost střed volantu - podlaha

B ... přímá vzdálenost pedál - horní okraj sedáku

C ... vodorovná vzdálenost pedál - okraj sedáku

D ... svislá vzdálenost horní hrana řadící páky - podlaha

E ... svislá vzdálenost horní okraj sedáku - podlaha

F ... vodorovná délka sedáku

G ... celková délka sedáku

H ... vzdálenost střed volantu - zadní hrana sedáku

I ... vzdálenost osa volantu - osa řadící páky

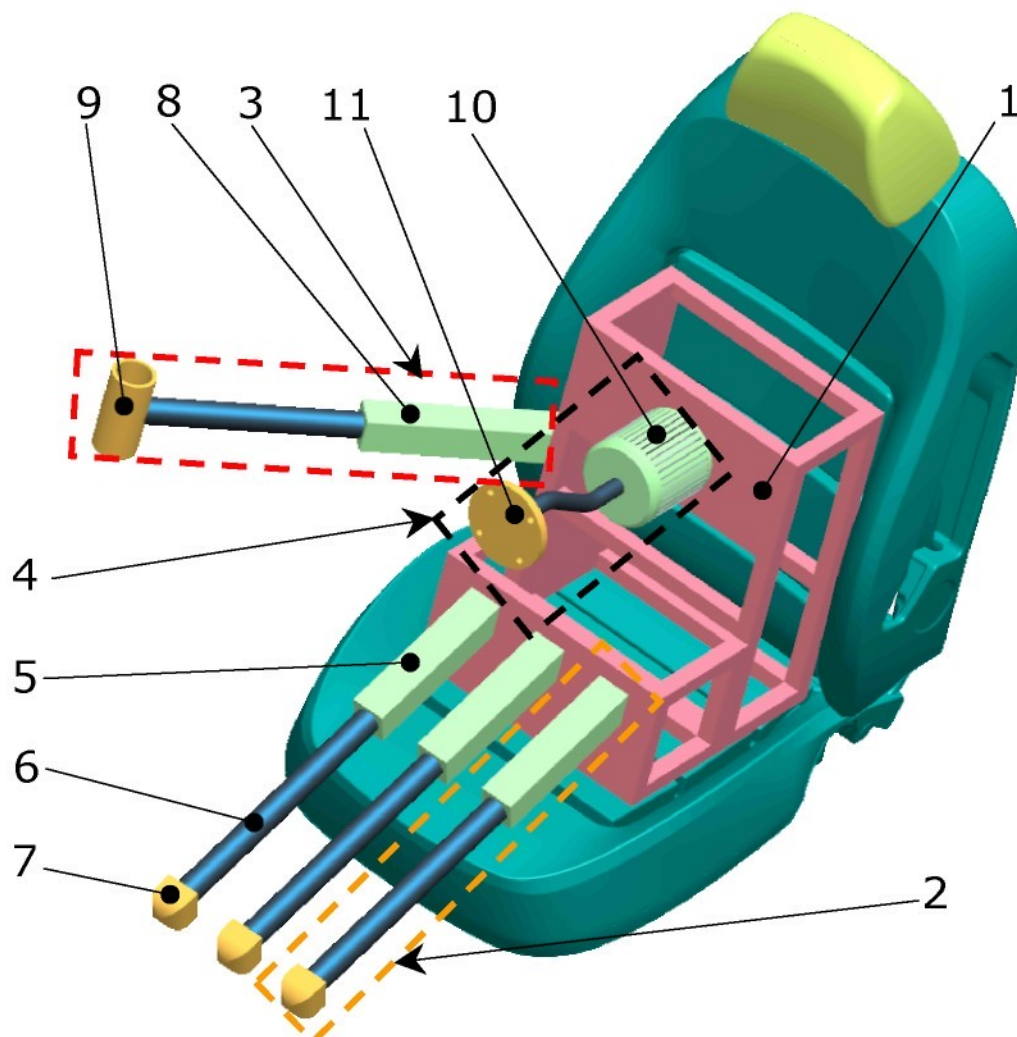
J ... vzdálenost osa řadící páky - zadní hrana sedáku

K ... podélná dráha řazení

L ... příčná dráha řazení

3 Konstrukční část

3.1 Stručný popis částí řídicího robota



Obr. 23 Schéma robota a všech jeho částí, zdroj: vlastní

- 1 ... základní rám
- 2 ... ovládání pedálu
- 3 ... ovládání řazení
- 4 ... ovládání řízení
- 5 ... pohon pro ovládání pedálů
- 6 ... táhla mezi pohonem a pedálem
- 7 ... stykový člen zajišťující přenos síly na pedál
- 8 ... pohon pro pohyb řadící páky
- 9 ... koncový člen ovládání řazení, zajišťuje přenos síly na řadící páku
- 10 ... pohon pro ovládání řízení
- 11 ... táhlo pro přenos síly na volant

3.2 Varianty řešení

3.2.1 Kostra (rám)

Základní rám bude (dle použité varianty ostatních celků) tvořit stacionární část robota. Je to část, která po ukotvení do interiéru vozidla bude poskytovat "oporu" pro ostatní pohybující se části. Vzhledem k požadavku na celkové řízení vozidla předpokládám, že rám bude umístěn na sedadle řidiče (ať už budou použity další varianty jakékoliv).

Jednouúčelová konstrukce

Základní nosný rám by mohl být koncipovaný jako kombinace svařenců, ohýbaných plechů a dalších účelově vyrobených dílů. Součásti by byly montovány a vyráběny zcela jednoznačně bez možnosti dalšího potenciálního rozšíření. Robot by se mohl vyrobit s co možná nejlepším využitím vnitřního prostoru. Tato varianta by se uplatnila při výrobě série.



Obr. 24 Příklad konstrukce rámu, Stähle <http://www.stahle.com>

Konstrukce z typových profilů

Dále by nosný rám mohl být smontován z trubek nebo profilů některého z výrobců. Dnes již firmy nabízí komplexní řešení pro konstrukci téměř čehokoliv. Základem jsou standardizované díly, ze kterých díky jejich rozmanitosti lze postavit běžné univerzální rámy. Tyto díly jsou k sobě šroubovány nebo spojeny pomocí zácvaků. Rozebíratelný celek má výhodu ve snadné úpravě, opravě, nebo celkově je možná změna pojetí celého robota (přidání či ubrání dalších samostatných částí). Tato konstrukce je tedy univerzálnější. Na druhou stranu jsme při stavbě omezeni sortimentem výrobce a stavbu (při snaze zachovat co nejmenší počet vyráběných dílů). Hodí se proto pro prototypové a testovací zařízení.

Obě varianty zahrnují možnost rámu jako jednoho celku, nebo rámu rozděleného. Např. řadičí jednotka by mohla být umístěna v menším rámu na sedadle spolujezdce. Tato možnost s sebou přináší lepší manipulaci s robotem, naopak prodlužuje instalační čas.



Obr. 25 Příklad využití typových profilů, www.abd.uk.com

Bez základního rámu

Pokud by bylo použito jen jednotlivých ovládacích celků, jako např. pouze ovládání jednotlivého pedálu, apod., velký rám by postrádal smysl a stačilo by využít pevné ukotvení ovládacího mechanismu např. k podlaze. Toto řešení se s výhodou uplatní v případě, kdy zbytek automobilu ovládá člověk a uvnitř tak není místo pro velké zařízení.



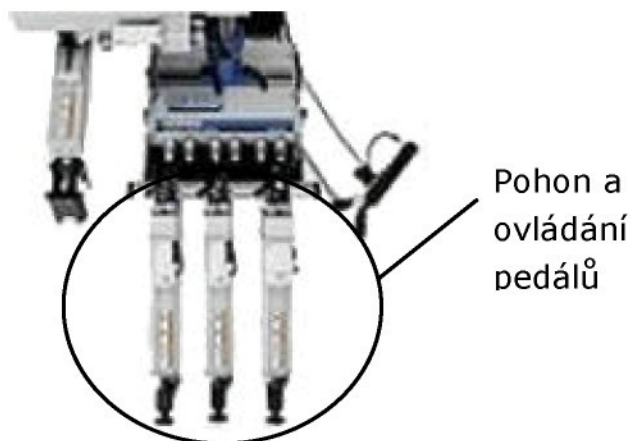
Obr. 26 Ovládací mechanismus pedálů bez vazby na centrální rám firmy AB Dynamics, <http://www.abd.uk.com>

3.2.2 Ovládní pedálů

Ovládání pedálů se skládá ze tří částí: pohonná jednotka (zajišťující pohyb), táhla (přenáší pohyb a sílu na pedály) a koncová část (zajišťuje styk s pedálem).

Pohon ovládání

K pohonu ovládání pedálů se v tomto případě hodí elektrický motor. Dle konstrukce je možné použít motor přímočarý, ale i rotační. Další řešení by mohlo být uskutečněno s pomocí hydraulicky nebo pneumaticky ovládaných mechanismů. S ohledem na nárůst počtu dalších potřebných částí obvodu, zvýšení hmotnosti a celkové složitosti, se mi tato varianta jeví jako méně vhodná.



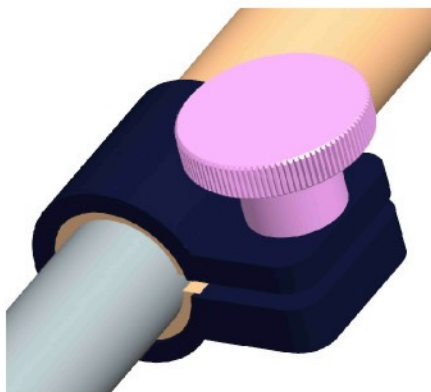
Obr. 27 Pohony pedálů robota Horiby ADS-7000, <http://www.horiba.com>



Obr. 28 Pneumatický pohon pedálů od firmy Stähle, <http://www.stahle.com>

Táhla k pedálům

Vzhledem k délce táhla by se měla zajistit nízká hmotnost a tuhost. Řízení vzdálenosti lze řešit buď teleskopickou tyčí, nebo posuvně uloženým motorem. Teleskopická tyč je konstrukčně jednodušší. V tomto případě je důležité správné dimenzování svěrného spoje u teleskopického táhla, aby nedocházelo k zasouvání.



Obr. 29 Možná podoba svěrného spoje na teleskopickém táhle, zdroj: vlastní

Přenesení síly na pedál

V zásadě bych tuto část rozdělil na dvě možné varianty.

První varianta, kdy je táhlo s pedálem pevně spojeno. Budou se klást menší nároky na tuhost táhla, resp. jeho přesné polohování na pedál. Nevýhodou

bude obtížná manipulace při upevňování na pedál. Upínací systém by bylo nutné navrhnout tak, aby vyhověl všem druhům pedálům - rovným i konickým. Druhá varianta s volným stykem skýtá svoji výhodu v nepotřebnosti kotvení na pedál, a tudíž odpadne činnost s tímto spojená při ustavování robota do automobilu. Táhlo pak musí být dostatečně tuhé, aby při odlehčení nemělo tendence sklouzávat z pedálu.



Obr. 30 Ovládání pedálů dle firmy Froude Hofmann, <http://www.froudehofmann.com/>



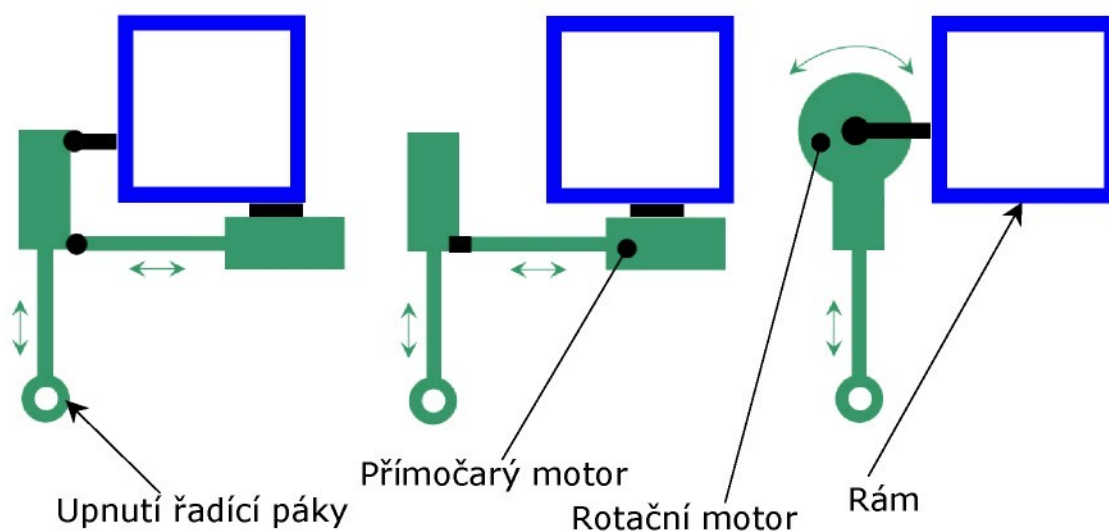
Obr. 31 Řešení pomocí svěrky na pedálu firmou Stähle, <http://www.stahle.com>

3.2.3 Ovládání řazení

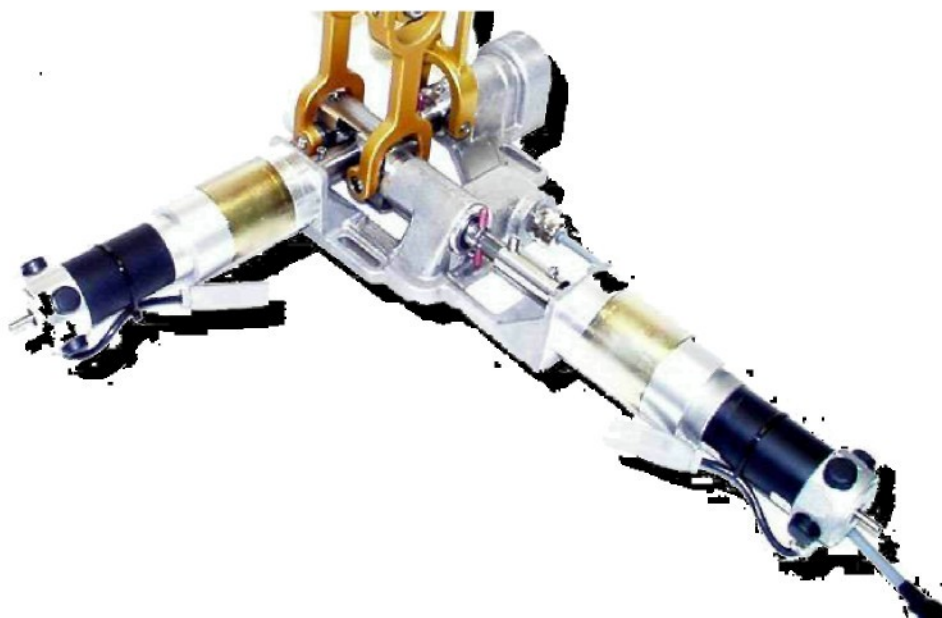
Ovládání řazení lze opět rozdělit na více částí. První je opět samotný pohon a druhá část je uchycení řadící páky. Od takového robota se očekává, že bude schopen ovládat páku jak manuální, tak automatické převodovky.

Pohon

Řazení vyžaduje ovládání ve dvou osách. To lze realizovat kombinací motorů lineárních, popř. lineárního s rotačním. V tomto případě záleží na použitém základním rámu a zástavbových prostorách automobilu, jelikož kombinací v prostoru může být mnoho.



Obr. 32 Schématicky zakreslené příklady kombinací ovládacích motorů pro řazení (pohled shora), zdroj: vlastní



Obr. 33 Pohony řadícího robota firmy Stähle, <http://www.stahle.com>

Uchycení řadicí páky

V tomto případě se opět vyžaduje univerzálnost, jelikož hlavice řadicích pák jsou různé. Dalším požadavkem je pohyb páky ve dvou osách - podélné a příčné. Volná svislá osa je nežádoucí, jelikož maří příčný pohyb.

- Dělený náboj

Objímka náboje je horizontálně či vertikálně (nebo obojí) rozdělena. Čím více částí má objímka, tím lépe se přizpůsobí tvaru páky.



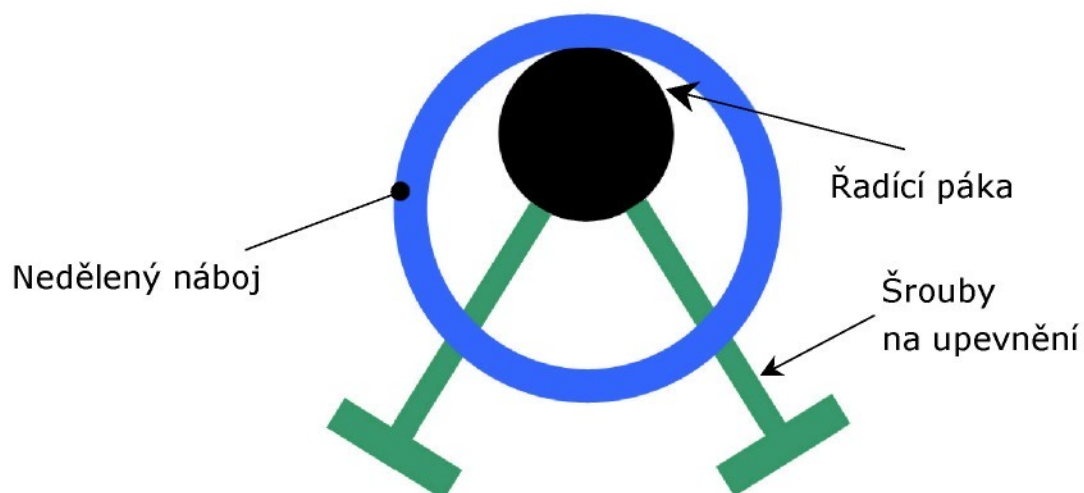
Obr. 34 Dělená hlavice řadicího robota Stähle, <http://www.stahle.com>

- Uchycení na tyč řazení po sundání hlavice

Pravděpodobně nejjednodušší varianta, kdy sundáme hlavici řadicí páky a na obnaženou řadicí tyč připneme táhlo pomocí např. svěrného spoje. Výhodou je, že zde nehrozí žádné poškození pohledové části. Nicméně demontáž hlavice v dnešní době často spojené s manžetou je velice nevýhodná.

- Nedělený náboj se stažením šrouby

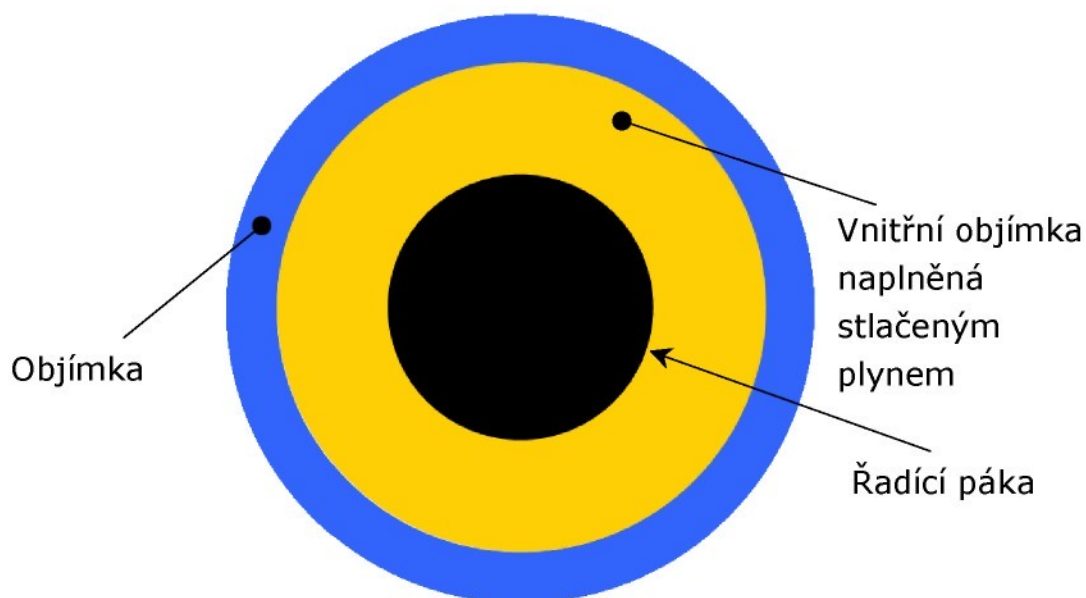
Výhodou tohoto řešení je jeho jednoduchost, ať už v konstrukci, nebo samotné aplikaci. Téměř bodový styk šroubu umožňuje použití na rozličné množství tvarů hlavice. Volbou počtu šroubů lze volit pevnost spojení.



Obr. 35 Schéma neděleného náboje se šrouby, pohled shora, zdroj: vlastní

- Použití stlačeného plynu

Další možností je konstrukce širokého náboje s vnitřní objímkou, která se naplní stlačeným plynem a pevně obepne řadící páku jakéhokoliv tvaru. Problematický by u tohoto řešení mohl být přenos řadící síly relativně měkkou objímkou. Nevýhodou je zařazení dalších prvků z oblasti pneumatiky.



Obr. 36 Schéma objímky za použití stlačeného plynu, pohled shora, zdroj: vlastní

3.2.4 Ovládání řízení

Ovládání řízení má za úkol směrové řízení automobilu. Skládá se z pohonu a ovládacího členu. Aplikuje se buď na stávající volant, nebo vyžaduje náhradu na místo původního.

Rotační motor

Rotační motor se může umístit buď na základní rám robota, nebo přímo na stávající volant v automobilu. Pokud se umístí na základní rám, je nutné řešit vzdálené ovládání volantu.

Ovládání volantu z rámu

Jednou možností je použití kardanova hřídele. Na sériový volant se umístí speciální nástavec s krátkým hřídelem uprostřed a z hřídele elektromotru se na tento nástavec vede kardanův hřídel. U této varianty není nutná souosost volantu a motoru, což je ve stísněném kokpitu automobilu určitě výhodou. Nevýhodou je nutnost takové konstrukce nástavce, aby se nástavec při seřizování průměru na volant udržel v ose volantu.

Další možností je použití dvou teleskopických "rukou", které jdou z příruby na elektromotoru a jsou upnuty přímo na volant bez nutnosti redukce. U této varianty je výhodné, když je motor ukotven tak, aby byl výškově posouvateľný a natáčecí kolem příčné osy.

Motor připevněný na volant

Rotační motor je upevněn přímo do nástavce na volantu bez jakéhokoliv vedení. Proti rotaci je pak zafixován pomocí přísavky na čelním nebo bočním skle. Tato varianta má svoji výhodu v lepším využití vnitřního prostoru.



Obr. 37 Varianta řešení od firmy Stähle, <http://www.stahle.com>

Všechny tyto varianty pracují se standardním volantem automobilu. Nevýhodou je, že nemají ošetřeno případné nafouknutí airbagu (pokud je ve volantu namontován), a tudíž v krajním případě hrozí nebezpečí poškození interiéru. Řešením je demontovat původní volant a automobil řídit přes jiný volant bez airbagu. V tomto případě již tato redukce může být uzpůsobena přímo nějaké variantě ovládání. Motor může být umístěn přímo v redukci a pak je tedy nutné ho zajistit jen proti otočení, ale už ne držet jeho váhu.

Další možností ovládání přes redukci je použití např. přímočarého motoru a ozubeného hřebenu, který přes ozubení na redukci volantu dokáže volant roztočit. Tady je největší nevýhoda ve vzdálenosti v rejdech a ve zdvihu motoru.

3.3 Výběr variant a vlastní řešení robota

3.3.1 Nosný rám

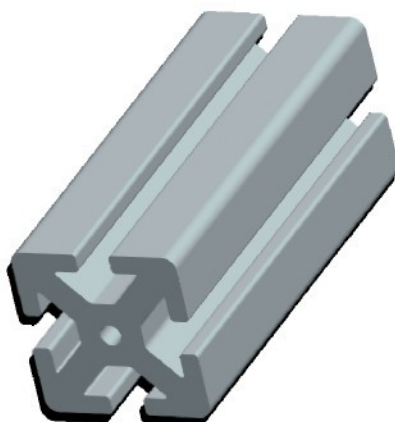
Pro základní rám volím variantu sestavení z hliníkových profilů. Toto řešení má hlavní výhodu ve svojí variabilitě a hmotnosti. Jednotlivé profily jsou k sobě šroubovány, a proto případné dodatečné montáže, demontáže a úpravy jsou velice snadno proveditelné.

Pro stavbu jsem použil profily firmy ITEM a to konkrétně řadu

s označením 8 v kombinaci s řadou 6. Profily 8 mají základní rozměr 40x40 mm, profil 6 použitý v konstrukci 30x60 mm. Kvůli tuhosti jsem volil nejtěžší řadu profilů.

Rám je poskládaný do uzavřeného útvaru zaručující maximální tuhost.

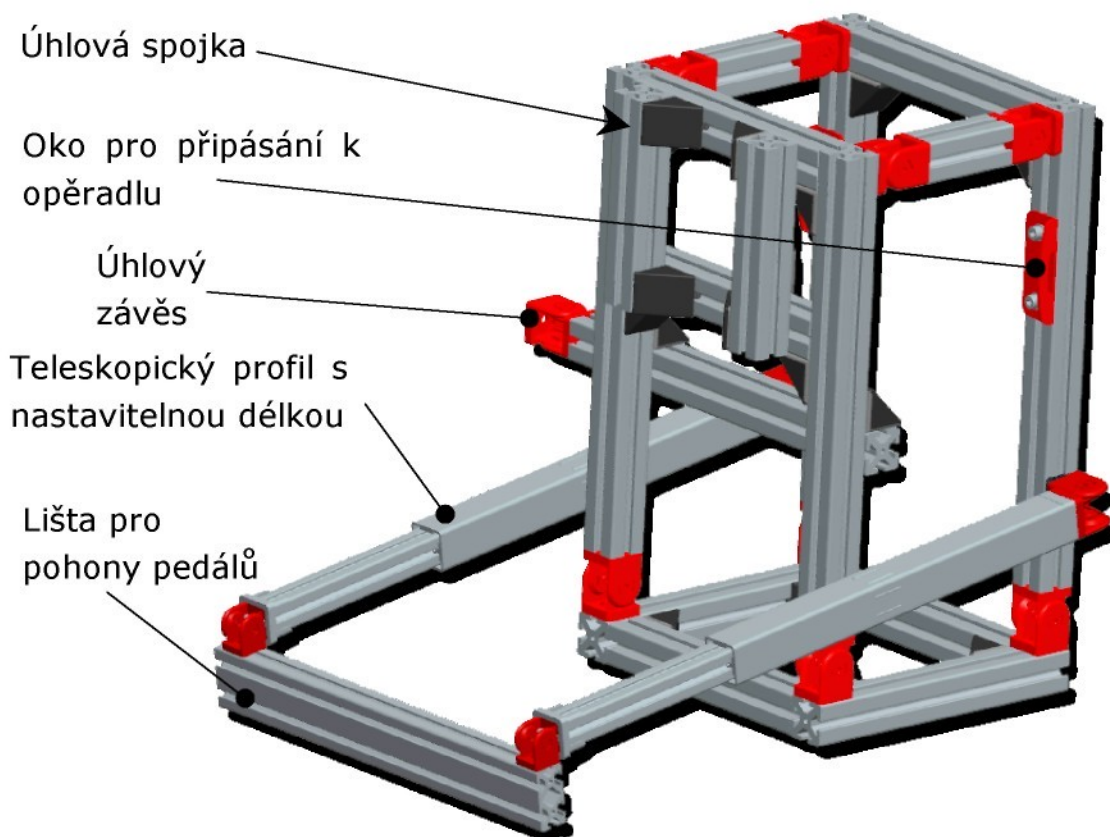
Jednotlivé profily jsou k sobě sešroubovány v rozích šrouby M8, které jsou schovány pod krytky růžku. Rám bude usazen na sedadlo řidiče a přes oka připásán k jeho opěradlu. Takto ve spolupráci s bočním vedením sedadla a opěradla by měla konstrukce dostatečně zajistit stálou polohu i proti působení bočních sil od řazení. Proti zvednutí je rám zajištěn pomocí dvou teleskopických tyčí o opěrku hlavy ve spolupráci se zmíněným opásáním.



Obr. 38 Profil ITEM 40x40 mm, zdroj: vlastní

V celém rámu je umístěno 8 kloubů, aby šel umístit na jakékoliv sedadlo, s jakýmkoliv úhlem mezi sedákem a opěradlem. Předpokládám, že při instalaci je potřeba naklopit opěradlo tak, aby byla dodržena svislost, a tudíž pohon řazení pracoval vodorovně.

Půdorysné rozměry jsou 300 mm x 290 mm, výška 615 mm. V této variantě váží rám 12,91 kg.



Obr. 39 Rám robota vytvořený z profilů ITEM, zdroj: vlastní

3.3.2 Pohony

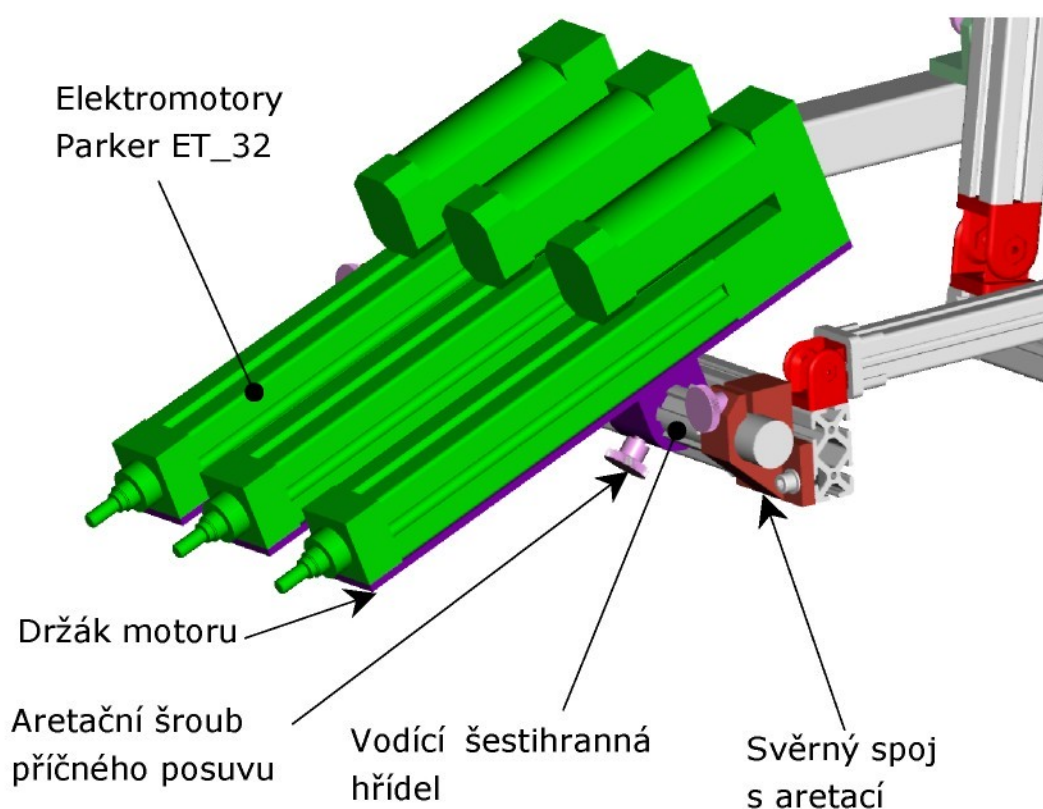
Na zařízení se vyskytují dva druhy pohonů. K ovládání řazení a pedálů slouží přímočaré elektromotory, k ovládání řízení rotační servomotor.

Pohony pedálů

K pohonu pedálů jsou určeny tři přímočaré motory, pro každý pedál jeden. Při srovnání výrobců je zřejmé, že použité ovládací síly pro plynový a spojkový pedál se pohybují mezi 100 N až 410 N, pro brzdový v případě firmy ABD až 1400 N. Jako pohony jsem vybral aktuátory firmy PARKER, z důvodu jejich snadnému přizpůsobení a variabilitě upnutí do systému. Jejich nejmenší řada disponuje maximální silou 600 N, a proto vzhledem k hodnotám konkurentů považuji tuto hodnotu za dostačující pro plynový i spojkový pedál. I přes fakt, že firma ABD vybavuje brzdové roboty téměř 10x silnějšími motory než

konkurence, vezmu-li v potaz ostatní firmy a moje orientační měření, pro brzdový pedál volím stejný motor jako pro ostatní dva pedály. Zdvih motorů volím 200 mm.

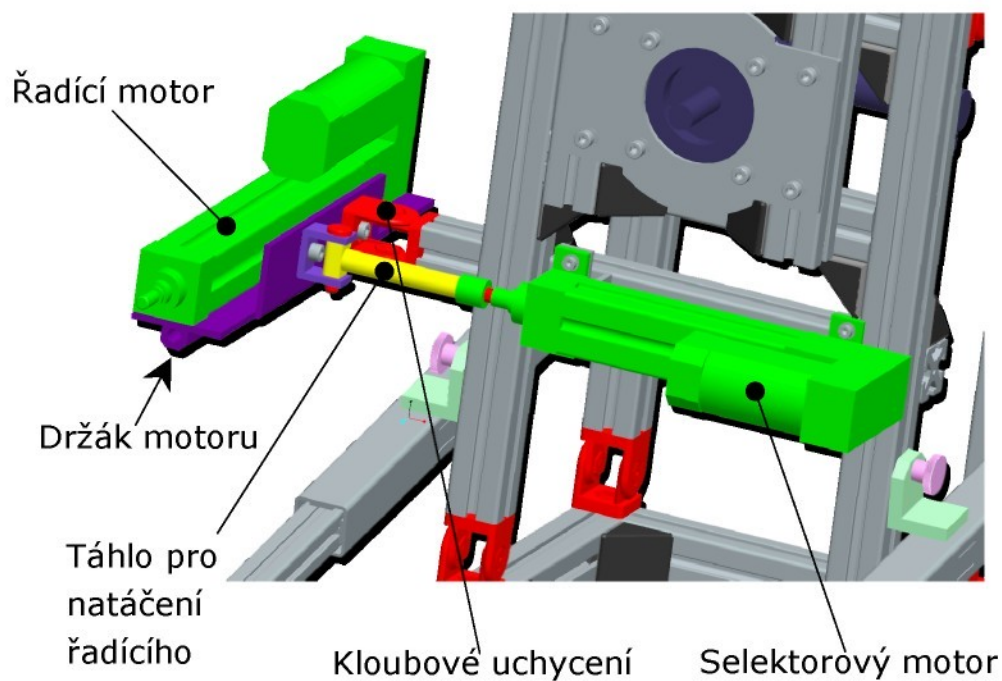
Jedná se tedy o motory PARKER ET_32 s pohonem umístěným paralelně k motoru. Základní zastavovací rozměry motoru jsou (výška x šířka x délka): 106,4 mm x 46,5 mm x 406,7 mm. Hmotnost motoru je 1,9 kg. Napojení je uskutečněno skrze vnitřní závit M10. Motor bude upevněn za spodní stranu pomocí 4 šroubů a bude schopen rotace kolem příčné osy. Aretace bude zajištěna skrze dva svěrné spoje.



Obr. 40 Uspořádání pohonů pedálů, zdroj: vlastní

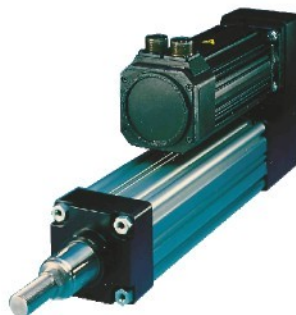
Pohony řazení

Na základě analýzy produktů ostatních výrobců volím silově stejné motory jako v případě ovládání pedálů. Rozdílné budou zdvihy - u motoru řadícího bude zdvih 200 mm a selektorového 70 mm.



Obr. 41 Rozmístění pohonů řazení na rámu,

Selektorový motor je pevně ukotven v rámu. Jeho zdvih natáčí řadící motor. Kombinací přímočarého podélného a příčného pohybu je možné obsáhnout standardní kulisu řazení.



Obr. 42 Elektromotor PARKER ET_32, <http://www.parker-eme.com/et>

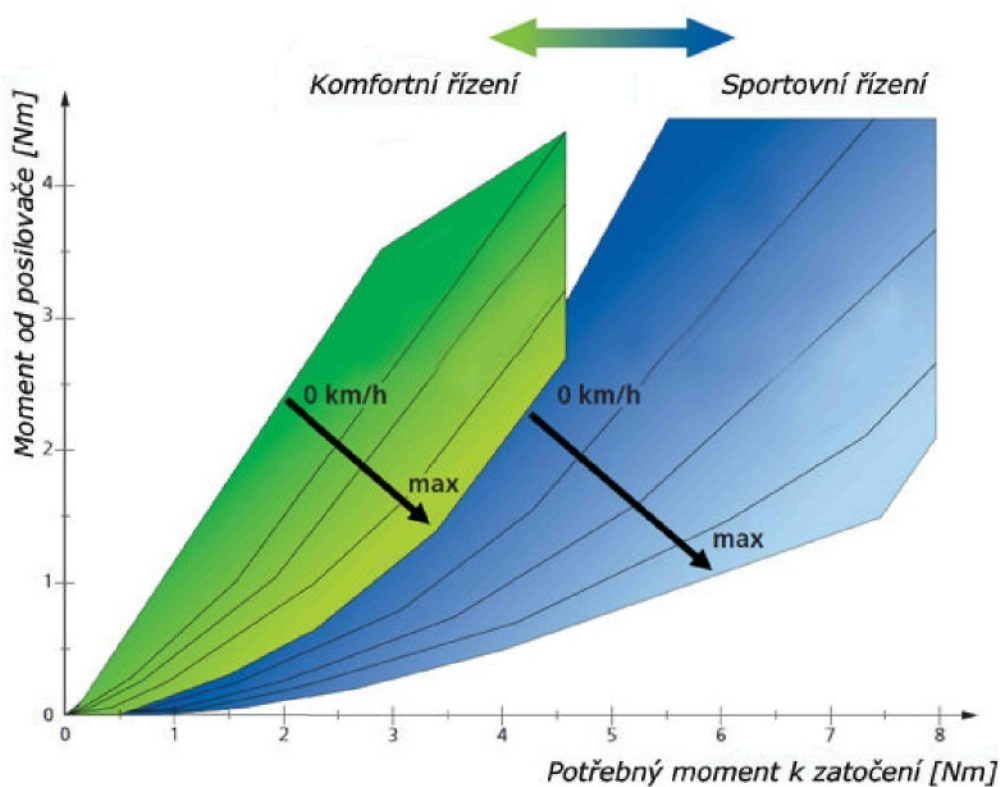
Pohony řízení

Pro ovládání volantu slouží rotační servomotor. Z údajů firmy ZF Lenksysteme vyplývá, že pro otočení volantu u automobilu vybaveném posilovačem je potřeba moment 8 Nm. Volím tedy motor právě s tímto maximálním momentem. Konkrétně se jedná o model firmy PARKER MB105 pro 8 Nm. Základní

zastavovací rozměry motoru jsou (výška x šířka x délka): 105 mm x 105 mm x 186 mm. Hmotnost motoru je 5 kg.

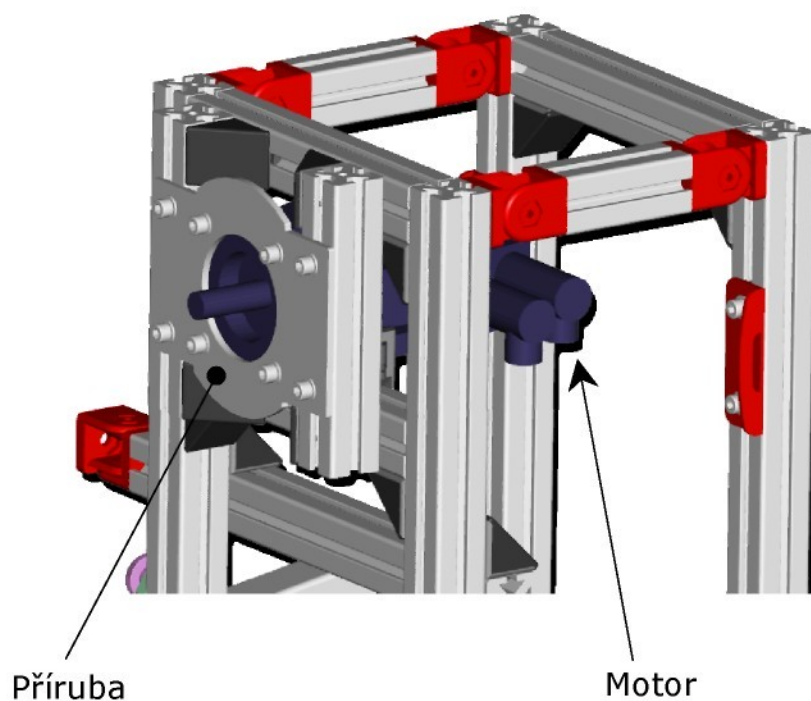


Obr. 43 Motor Parker MB105, <http://www.parker.com>



Obr. 44 Momenty na volantu, <http://www.zf-lenksysteme.com>

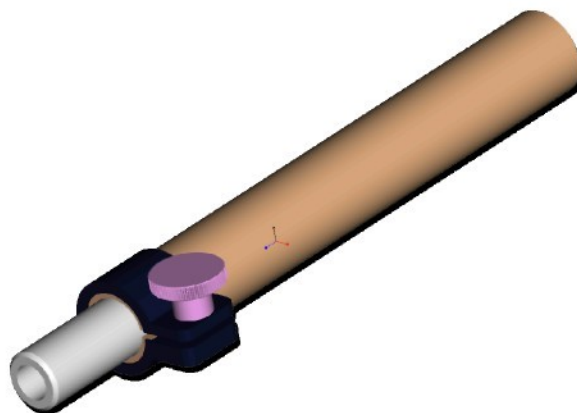
Napojení je uskutečněno přes těsné pero a hřídel s průměrem 20j6 mm. Motor bude upevněn za přírubu na čelní straně pomocí 4 šroubů M8 do vodorovné polohy.



Obr. 45 Uložení motoru ovládajícího řízení v rámu, zdroj: vlastní

3.3.3 Táhla k pedálům

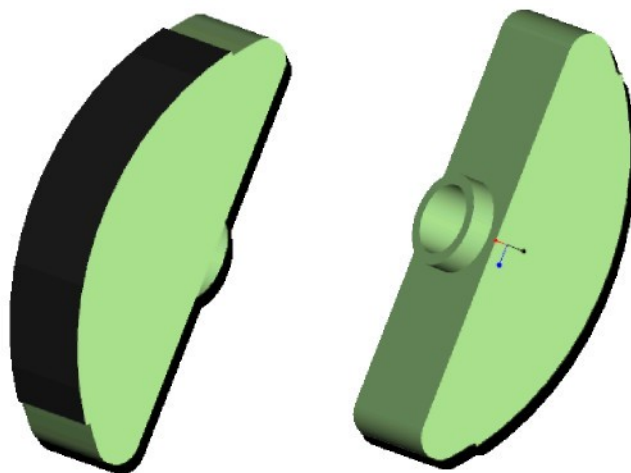
Pedály budou ovládány elektromotorem motorem skrze teleskopické tyče. Teleskopické tyče jsou asi nejjednodušší variantou pro nastavení vzdálenosti pedál - motor pro jednotlivé interiéry. Materiál je hliníková slitina EN AW-6061. Výhody jsou v dostupnosti polotovaru, váze a pevnosti. Svěrný spoj bude realizován objímkou a jedním šroubem na stažení. Průměry užší tyče bude 25/15 mm, širší 35/25 mm. Rozsah délky bude 300 - 450 mm.



Obr. 46 Teleskopické táhlo se svěrným spojem a aretačním šroubem, zdroj: vlastní

3.3.4 Pedálové botky

Spojení teleskopických tyčí s pedálem budou zajišťovat pedálové "botky". Nebudou s pedálem nijak spojeny a budou tedy fungovat jako lidská noha. Styková plocha bude zaoblená pro lepší vedení po celou dobu zdvihu. Proti zamezení sklouznutí z pedálu bude celá zaoblená plocha potažena pryží se zdrsňeným vzorkem. Botky budou na táhle našroubovány pomocí vnitřního závitu M25 a pojištěny kontra maticí. Výšky botky je 200 mm, šířka 50 mm.

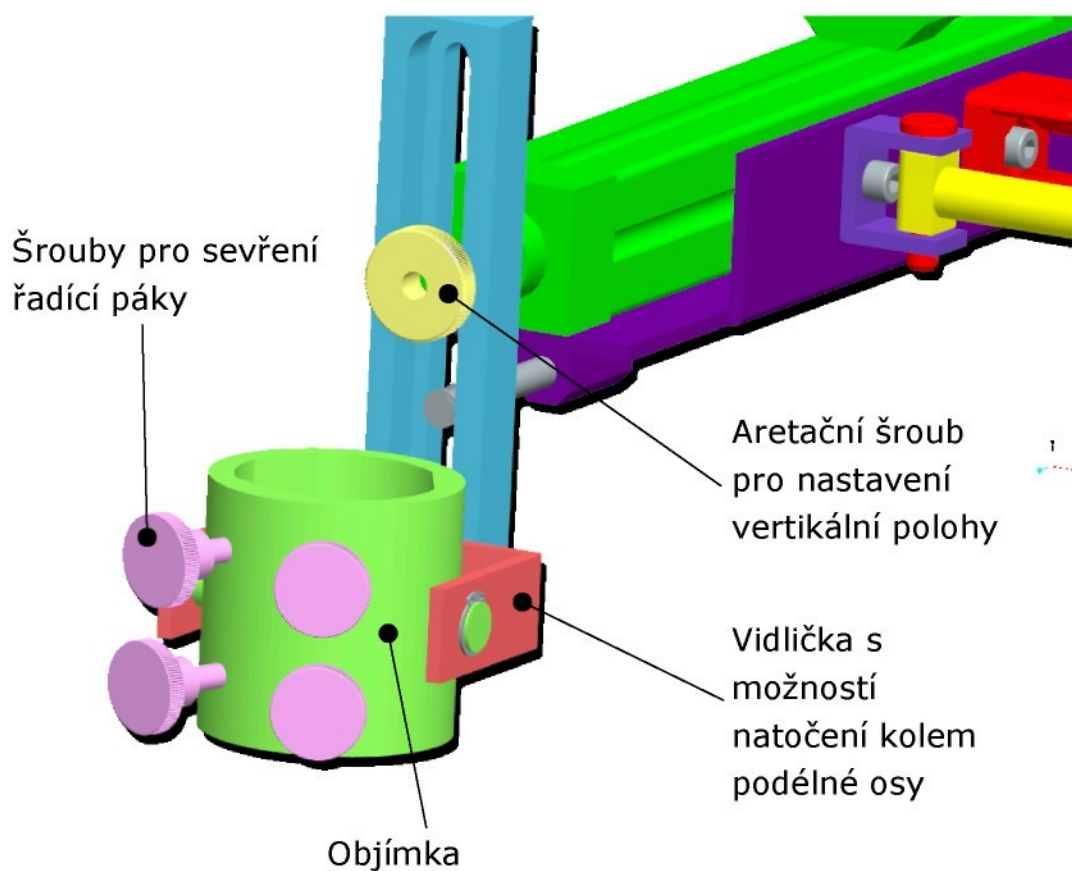


Obr. 47 Pedálové botky, zdroj: vlastní

3.3.5 Ovládání řazení

Hlavice na ovládání řadící páky má tvar mezikruží o vnitřním průměru 64 mm a výšce 80 mm. Z přední strany jsou 4 díry se závity, určené pro našroubování upínacích šroubů. Díky bodovému styku čtyř na sobě nezávislých šroubů není problém upnout v podstatě jakýkoliv tvar řadící páky. Uzavřený profil hlavice zajišťuje maximální tuhost při upínání.

Celá hlavice je uložena rotačně kolem příčné osy ve vidličce tvaru U. I tato vidlička je uložena rotačně pro změnu okolo podélné osy. Tímto se celé hlavici umožní rotace kolem dvou os, a tudíž nedojde při řazení a naklápění páky ke kolizi. Spojení s motorem zajišťuje nástavec, který se díky svislé drážce může po závitě na konci pístnice pohybovat nahoru a dolů, čímž se určí správná vertikální poloha vzhledem k řadící páce. Aretace polohy se provádí maticí s rýhovanou hlavou ručně bez nutnosti náradí. Proti otočení je pojištěn samotným třením šroubu a hřídelkou ve spodní části.

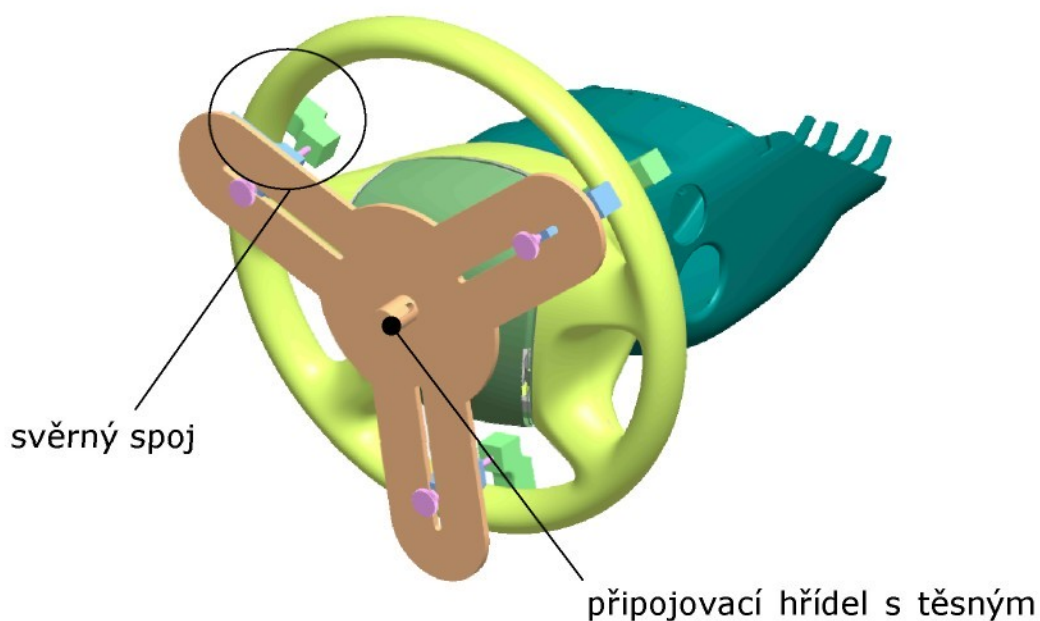


Obr. 48 Uchycení řadicí páky, zdroj: vlastní

3.3.6 Ovládání řízení

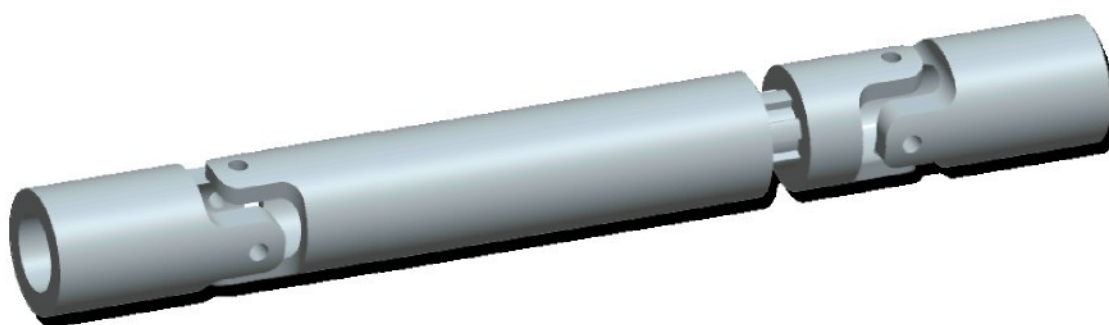
Ovládání řízení se skládá ze tří částí. Jsou to pohon (výše popsany), spojovací hřídel a redukce na volant.

Redukce na volant je složena z trojice svěrných spojů a jednoho vrchního plechu s drážkami po 120°. Pohybem svěrného spoje v drážkách se nastaví průměr věnce volantu. Nastavení je v rozmezí 220 mm - 424 mm. Celý svěrný spoj se stahuje šroubem s rýhovanou hlavou, který zároveň zafixuje i spoj proti posunutí v drážce. Pro lepší neklouzavost ve spoji se můžou styčné plochy opatřit plátkem pryže.



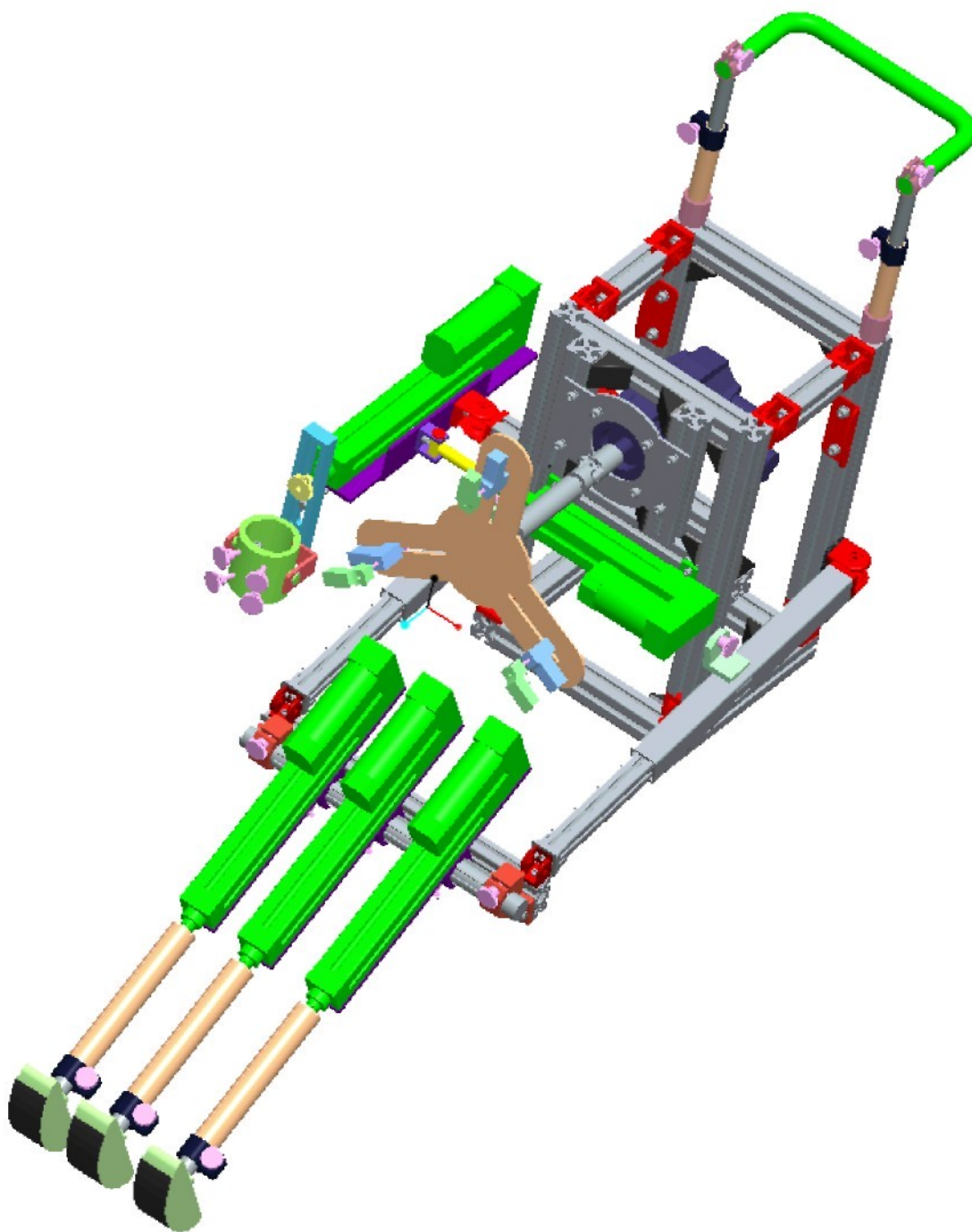
Obr. 49 Redukce uchycená na originálním volantu, zdroj: vlastní

Přenos momentu mezi motorem a volantem obstarává kardanův hřídel. Jeho výhoda je použití u nesouosých hřídelů. Na obou koncích je přenos zajištěn těsným perem. Pro tohoto robota jsem použil hřídel od firmy Hansbuehler, ale pro případné netypické rozměry lze použít jakýkoliv jiný, kterých trh nabízí dostatečné množství.



Obr. 50 Kardanův hřídel, zdroj: vlastní

3.3.7 Celkový pohled na robota



Obr. 51 Finální pohled, zdroj: vlastní

3.4 Pevnostní analýza

3.4.1 Zatížení rámu

Síly od řazení

Od obou motorů pohybujících s řadicí pákou je rám zatížen příčnou a podélnou silou. Oba motory dosahují maximální síly 600 N, tudíž tyto hodnoty použiji pro zatížení.

Síly od pedálů

Druhá dvojice sil bude působit od pedálů skrze teleskopické profily. Největší zatížení očekávám při nouzovém brzdění, tj. když budou působit spojkový a brzdový motor současně. Budu předpokládat, že se těchto 1200 N rozloží do obou teleskopů přibližně 1:1. Proto jako reakci na rám použiji 600 N na každé straně v místě kloubu pro teleskopický profil kolmo k zatěžovanému profilu.

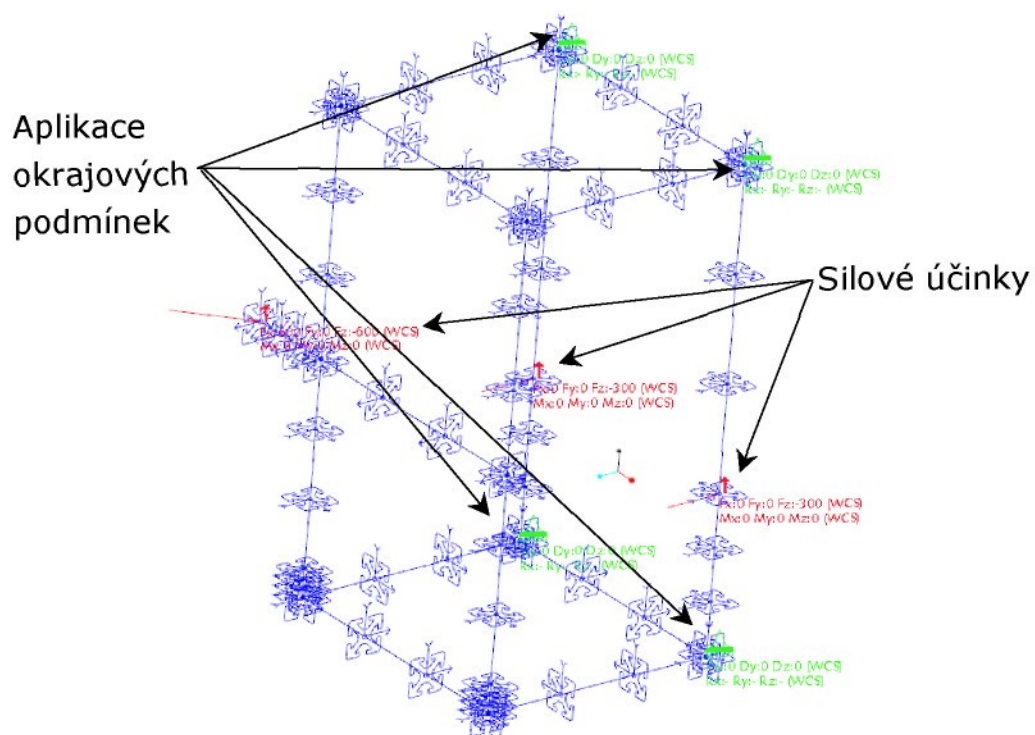
Okrajové podmínky

Robot bude připásaný k sedačce a bude mít na zadní straně oporu v podobě opěradla. Pro zachycení svislého posuvu bude robot opřený zespodu o hlavovou opěrku. Proto jsem jako krajové podmínky použil zafixování všech 4 uzlových bodů na zadní straně ve všech třech osách.

Materiál a vlastnosti profilu

Výpočet jsem provedl v programu Promechanica. Parametry profilu byly získány přesným namodelováním a vložením do programu. Materiál jsem volil hliníkovou slitinu EN AW-6061, která je obsažena v knihovně materiálů a je blízká originálnímu materiálu.

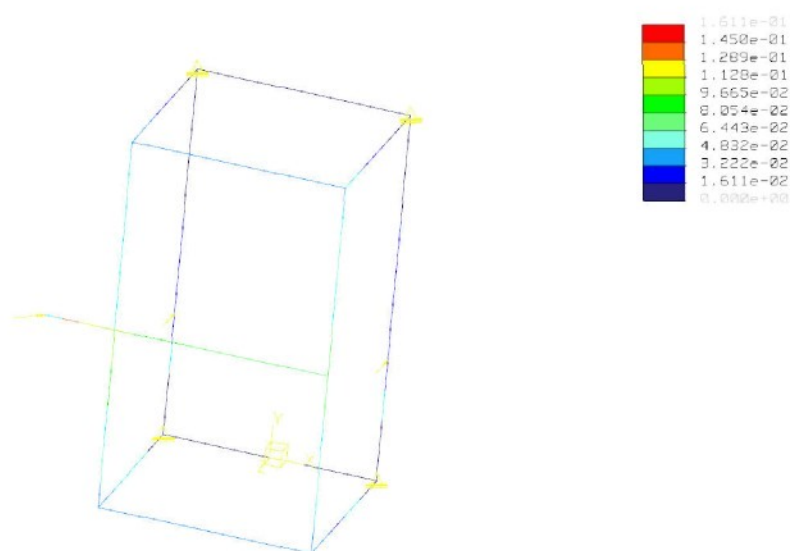
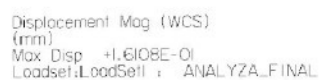
Výpočtový model rámu



Obr. 52 Výpočtový model rámu, zdroj: vlastní

Výsledky analýzy

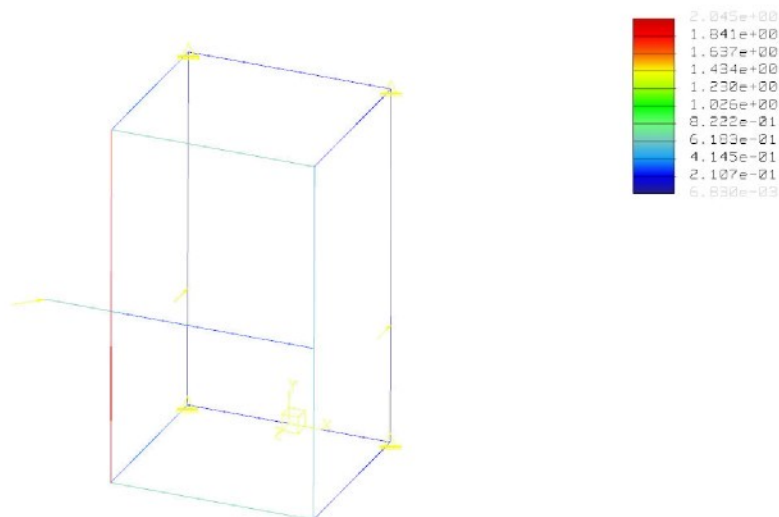
- Celkové posunutí bodů



Obr. 53 Výsledky analýzy - celkové posunutí uzlových bodů na rámu, zdroj: vlastní

- Napětí v prutech

Stress von Mises (WCS)
Maximum of beam
(N / mm²)
LoadSet: LoadSet1 : ANALYZA_FINAL



Obr. 54 Výsledky analýzy - celkové napětí v rámu, zdroj: vlastní

Zhodnocení

Z obou obrázků "posunutí bodů" a "průběhu napětí" je vidět, že dané konstrukce je dostatečně dimenzovaná a tuhá. Maximální posunutí bodů je dle očekávání na konci profilu držícího podélný řadič motor a to 0,16 mm. Největší napětí je pak v pravém svislém profilu 2,045 MPa. Vzhledem k výsledkům lze konstatovat, že rám je vyhovující.

3.4.2 Zatížení opěrky

Opěrka má za úkol zachytit svislé složky sil a zamezit tak vertikálnímu posunu celého robota. Do svislého směru se promítnou síly od pedálových motorů. Proto stejně jako v předchozím případě počítám se zatížením 2x600 N. Působíště jsem určil doprostřed spojovací části v délce 60 mm.

Okrajové podmínky

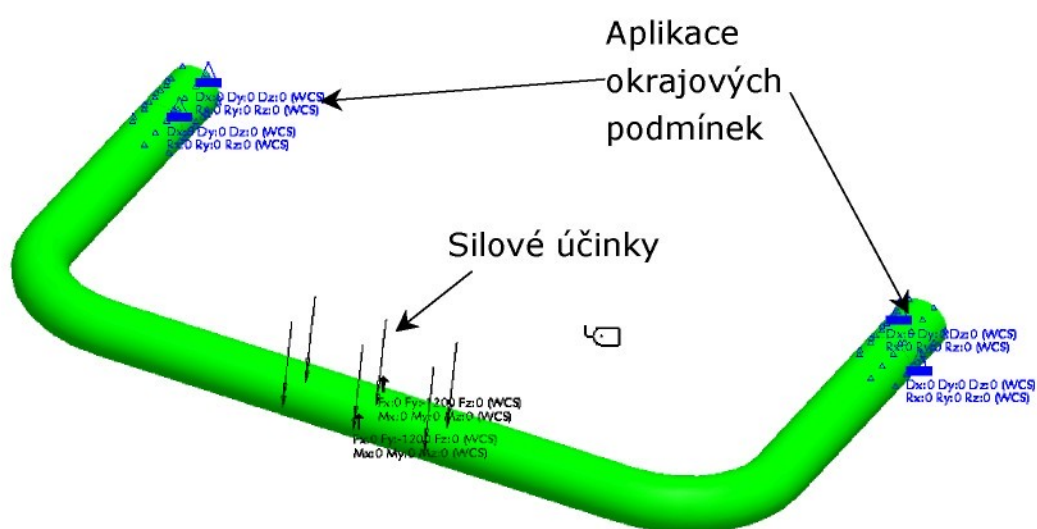
Opěrka bude maximálně vysunutá a svěrný spoj pevně dotažen.

V místě svěrného spoje je zamezeno posuvu ve všech osách.

Materiál a vlastnosti profilu

Profil je plná kruhová tyčovina z materiálu EN AW-6061.

Výpočtový model opěrky

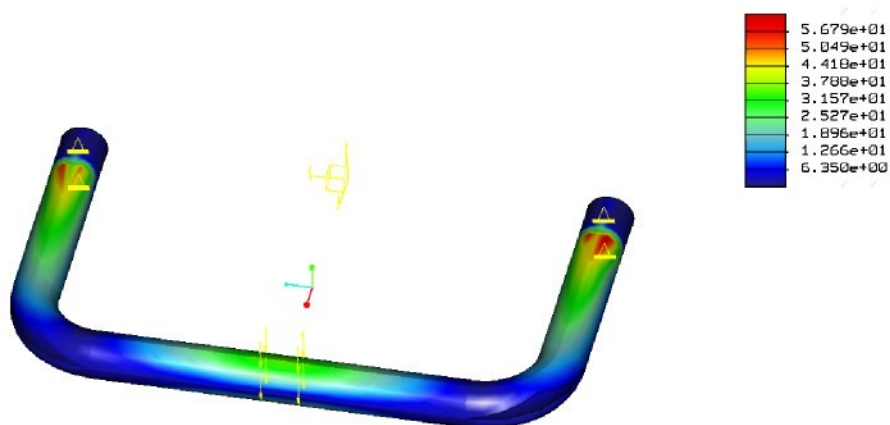


Obr. 55 Výpočtový model opěrky, zdroj: vlastní

Výsledky analýzy

- Celkové posunutí bodů

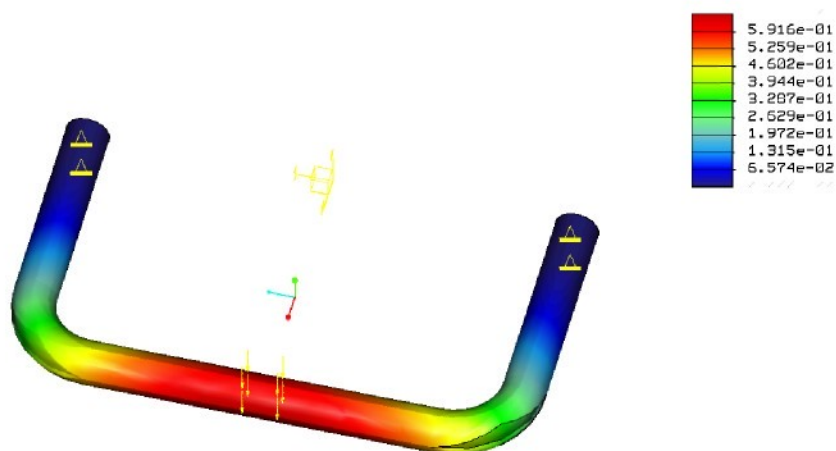
Stress von Mises (WCS)
(N / mm²)
Loadset: LoadSet1 : MADLO



Obr. 56 Výsledky analýzy - posun uzlových bodů v opěrce, zdroj: vlastní

- Napětí v opěrci

Displacement Mag (WCS)
(mm)
Max Disp +6.5736E-01
Loadset+LoadSet1 : MADLO



Obr. 57 Výsledky analýzy - napětí v opěrci, zdroj: vlastní

Zhodnocení

Maximální posunutí je dle výpočtu 0,59 mm, což je v tomto případě zanedbatelná hodnota. Maximální napětí je v místě hrany svěrného spoje 63 MPa, což vzhledem k maximální dovolené hodnotě 250 MPa znamená, že opěrka vyhovuje.

3.4.3 Kontrola svěrných spojů

U robota se svěrné spoje vyskytují ve dvou případech. V prvním u teleskopických tyčí, kde svěrný spoj zachytává axiální sílu. Ve druhém případě svěrný spoj zachytává moment, který vzniká působením elektromotorů na pedály.

- Kontrola svěrného spoje u teleskopické tyče

Maximální sílu působící na teleskopickou tyč předpokládám v táhle od brzdového pedálu.

Znamé hodnoty:

Axiální síla $F = 600$ [N]

Součinitel tření hliník (slitina)-hliník Slitina) $f_{Al} = 0,2$ [-]

Průměr vnitřní tyče $d_p = 20$ [mm]

Vzdálenost osy šroubu od osy tyče $e = 24$ [mm]

Délka svěrného spoje $l = 30$ [mm]

Použitý šroub M8, $d_2 = 7,350$ [mm]

Stoupání $P = 1$ [mm]

Součinitel tření v závitě $f = 0,15$ [-]

Součinitel bezpečnosti přenosu $k_W = 1,2$ [-]

Max. utahovací moment pro šroub M8 $M_{u_{max}} = 23,5$ [Nm]

Axiální síla v táhle:

$$F_A = F_M \cdot f_{Al} \quad (1)$$

$$600 = F_M \cdot 0,2$$

$$F_M = \frac{600}{0,2} = 3000 \text{ [N]}$$

Osová síla ve šroubu:

$$F_Q = \frac{F_M \cdot d_p}{d_p + 2e} \quad (2)$$

$$F_Q = \frac{3000 \cdot 20}{20 + 2 \cdot 24} = 882,35 \text{ [N]}$$

Úhel stoupání

$$\gamma = \arctan \frac{P}{\pi \cdot d_2} \quad (3)$$

$$\gamma = \arctan \frac{1}{\pi \cdot 7,350} = 2,479 [^\circ]$$

Třecí úhel

$$\varphi = \arctan f \quad (4)$$

$$\varphi = \arctan 0,15 = 8,53 [^\circ]$$

Potřebný utahovací moment šroubu:

$$M_u = \frac{3}{4} \cdot d_2 \cdot F_Q \cdot \tan(\gamma + \varphi_z) \quad (5)$$

$$M_u = \frac{3}{4} \cdot 7,350 \cdot 882,35 \cdot \tan(2,479 + 8,53)$$

$$M_u = 946,3 \text{ [Nmm]}$$

$$M_u = 1 \text{ [Nm]}$$

Kontrolní výpočet na otlačení:

$$p_F = \frac{k_w \cdot F_A}{\pi \cdot f \cdot l \cdot d_p} \leq p_{\text{Dov}} \quad (6)$$

$$p_F = \frac{1,2 \cdot 600}{\pi \cdot 0,2 \cdot 30 \cdot 20} = 1,91 \text{ [MPa]}$$

Pro slitiny hliníku se neuvádí maximální dovolená hodnota v tlaku. Tato hodnota by se musela speciálně naměřit. Proto jsem spoj dimenzoval tak, aby byla co nejmenší pravděpodobnost, že by spoj na tlak nevyhovoval. Hodnota 1,91 [MPa] je dle mého odhadu dostatečně dimenzována, a proto spoj vyhovuje.

- Kontrola svěrného spoje u drážkového hřídele

Výpočet je stanoven pro případ, kdy najednou působí naplno dva přímočaré elektromotory, tj. v případě kritického brzdění.

Znamé hodnoty:

Zatěžující síla $F = 1200$ [N]

Rameno kroutícího momentu na třecí spoj $a = 53,25$ [mm]

Součinitel tření hliník (slitina)-hliník (slitina) $f_{Al} = 0,2$ [-]

Průměr náboje $d_p = 31$ [mm]

Vzdálenost osy šroubu od osy tyče $e = 22$ [mm]

Celková délka svěrného spoje $l = 60$ [mm]

Použitý šroub M8, $d_2 = 7,350$ [mm]

Úhel stoupání $\gamma = 2,479$ [°]

Třecí úhel $\varphi = 8,53$ [°]

Součinitel bezpečnosti přenosu $k_w = 1,2$ [-]

Max. utahovací moment pro šroub M8 $M_{u_{max}} = 23,5$ [Nm]

Moment působící na svěrný spoj:

$$M = F \cdot a \quad (7)$$

$$M = 1200 \cdot 53,25$$

$$M = 63900 \text{ [Nmm]}$$

Tlak působící na hřídel:

$$p_{M_k} = \frac{2 \cdot k_w \cdot M_k}{\pi \cdot f \cdot l \cdot d_p^2} \quad (8)$$

$$p_{M_k} = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 63900}{\pi \cdot 0,2 \cdot 60 \cdot 31^2} = 4,23 \text{ [MPa]}$$

Normálová síla v tlakovém spoji:

$$F_M = p_{M_K} \cdot l \cdot d_p \quad (9)$$

$$F_M = 4,23 \cdot 60 \cdot 31 = 7867,8 \text{ [N]}$$

Osová síla ve šroubu:

$$F_Q = \frac{F_M \cdot d_p}{d_p + 2e} \quad (10)$$

$$F_Q = \frac{7867,8 \cdot 31}{31 + 2 \cdot 22} = 3252,1 \text{ [N]}$$

Celkový počet šroubů ve spoji $n = 2$, tudíž osová síla v jednom šroubu je $F_Q/2 = 1626,1 \text{ [N]}$

Potřebný utahovací moment šroubu

$$M_U = \frac{3}{4} \cdot d_2 \cdot F_Q \cdot \tan(\gamma + \varphi_z) \quad (11)$$

$$M_U = \frac{3}{4} \cdot 7,350 \cdot 1626,1 \cdot \tan(2,479 + 8,53)$$

$$M_U = 1743,86 \text{ [Nmm]}$$

$$M_U = 1,8 \text{ [Nm]}$$

Kontrolní výpočet na otlačení

$$p_{M_K} \leq p_{Dov} \quad (12)$$

$$p_{M_K} = 8,46 \text{ [MPa]}$$

Stejně jako v prvním případě budu předpokládat, že hodnota 8,46 [MPa] je dostatečně nízká, aby spoj na kontrolu tlaku vyhovoval.

3.4.4 Kontrola teleskopické tyče na vzpěr

Znamé hodnoty:

Materiál EN AW 6061

Maximální síla $F = F_{KR} = 600$ [N]

Velký průměr menší tyče $D = 25$ [mm]

Malý průměr menší tyče $d = 15$ [mm]

Celková délka teleskopické tyče $l = 400$ [mm]

Modul pružnosti $E = 0,75 \cdot 10^5$ [MPa]

Konstanta dle uložení prutu $n = 4$ [-]

Mez úměrnosti $\sigma_U = 58$ [MPa]

Výpočet kvadratického momentu tyče:

$$J = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad (13)$$

$$J = \frac{\pi}{64} (25^4 - 15^4) = 16689,71 \text{ [mm}^4\text{]}$$

Výpočet minimálního kvadratického poloměru průřezové plochy:

$$i = \sqrt{\frac{J}{S}} \quad (14)$$

$$i = \sqrt{\frac{16689,71}{314}} = 7,29 \text{ [mm]}$$

D

Výpočet štíhlostního poměru:

$$\lambda = \frac{l}{i} \quad (15)$$

$$\lambda = \frac{400}{7,29} = 54,9 [-]$$

Výpočet mezního štíhlostního poměru:

$$\lambda_m = \frac{n \cdot \pi^2 \cdot E}{\sigma_u} \quad (16)$$

$$\lambda_m = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 0,75 \cdot 10^5}{58} = 5,1 \cdot 10^4$$

$\lambda < \lambda_m$... kontrola bude provedena na prostý tlak

$$\sigma_{TL} = \frac{F}{S} \quad (17)$$

$$\sigma_{TL} = \frac{4 \cdot F}{\pi(D^2 - d^2)} = \frac{4 \cdot 600}{\pi \cdot (25^2 - 15^2)} = 1,91 \text{ [MPa]}$$

Stejně jako výše z důvodu absence maximálního dovoleného tlaku budu brát hodnotu 1,91 MPa jako dostatečně nízkou, a proto teleskopická tyč při zatížení vzpěrem vyhovuje.

4 Závěr

Zadání mojí diplomové práce znělo: Automatizace jízdních zkoušek vozidel. Nejprve jsem provedl analýzu výrobců robotizovaných systémů. Našel jsem 5 evropských firem, které se touto problematikou zabývají a popsal jejich produkty. Následně jsem začal navrhovat své vlastní řešení takového systému. Postupoval jsem tak, že jsem se zabýval jednotlivými konstrukčními prvky, ke kterým jsem vymýšlel různé možnosti zpracování. Ke každému bodu jsem se snažil vytvořit schéma nebo použít obrázek již fungujícího zařízení. Z takto vzniklých variant jsem poté vybral ty nejvýhodnější a začal je přenášet do 3D prostředí. V první fázi jsem zkonstruoval základní nosný rám. Rám je zkonstruovaný pomocí katalogových profilů firmy Item. Dalším krokem bylo vybrat ze široké škály výrobců různých pohonů ty, které se nejvíce hodí k této konstrukci. Všechny pohony na robotovi jsou od firmy Parker. Poté jsem konstruoval ostatní konstrukční uzly, zajišťující přenos síly na ovládací prvky automobilu. Tyto prvky jsou většinou vlastní konstrukce s použitím normalizovaných spojovacích dílů. V poslední fázi jsem provedl pevnostní analýzu u namáhaných částí, u rámu a opěrky metodou konečných prvků. Svěrné spoje a vzpěr na teleskopických tyčích jsem počítal numerickou metodou. Všechny pevnostní výpočty vyšly, a součásti tudíž vyhovují. Výsledný robotický systém je namodelovaný ve 3D prostředí programem ProEngineer a připravený pro další rozvíjení v rámci Výzkumného záměru na katedře KVM.

Seznam použité literatury

- [1] VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. vydání. Brno:Nakladatelství vlk, 2001, ISBN 80-238-6573-0
- [2] LEINVEBER, J., ŘASA, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 2. vydání. Praha:Scientia, spol. sr.o., 1998, ISBN 80-7183-123-9
- [3] KOL. *Příručka o hliníku*. 1. vydání. Praha, 1969
- [4] PEŠÍK, L. *Části strojů 1 díl*. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001, ISBN 80-7083-584-2

- [5] Item Industrietechnik und Maschinenbau GmbH [online]. Dostupné na
www: <<http://www.item.info>>.
- [6] Automatizace. In *Wikipedia: otevřená encyklopedie* [online]. Los Angeles
(California): Wikimedia Foundation, [cit. 2010-04-25]. Česká verze.
Dostupný na www: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Autimizace>>.
- [7] Anthony Best Dynamics [online]. Dostupné na www.
<<http://www.abd.uk.com/>>
- [8] Parker Hannifin Corp. [online]. Dostupný na www:
<<http://www.parker.com>>
- [9] Dr.-Ing. S. Haußmann Industrieelektronik [online]. Dostupný na www:
<<http://www.sh-el.de/>>
- [10] Stähle Robot Systems [online]. Dostupný na www:
<<http://www.stahle.com>>
- [11] Hans Büchler & Co. [online]. Dostupný na www:
<<http://www.hansbuehler.com>>
- [12] ZF Lenksysteme GmbH [online]. Dostupný na www:
<<http://www.zf lenksysteme.com>>
- [13] Horiba [online]. Dostupný na www:<<http://www.horiba.com>>

Poznámka:

Označování výkresů -

KSD -DP - 601