

ŠOLSKI CENTER VELENJE
ELEKTRO IN RAČUNALNIŠKA ŠOLA VELENJE
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

PNEVMATSKI SIMULATOR VOŽNJE 2

Tematsko področje: Tehnika ali tehnologija

Avtorji:

Aleksander Turnšek, 4. letnik

Blaž Sitar, 4. letnik

Samo Železnik, 4. letnik

Mentor:

Uroš Remenih

Somentorja:

Vlado Seitl

Jernej Hudoklin

Velenje, 2013

Raziskovalna naloga je bila opravljena na ŠC Velenje, Elektro in računalniški šoli, 2013.

Mentor: Uroš Remenih, abs. FE, smer telekomunikacije

Somentorja: Vlado Seidl, inž. meh.
Jernej Hudoklin

Datum predstavitev: marec 2013

Uporabili smo licenco CreativeCommon (Priznanje avtorstva - <http://creativecommons.si/node/249>,
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/si/>).



BY: Aleksander Turnšek, Blaž Sitar, Samo Železnik, Uroš Remenih

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2013
KG Simulator / pnevmatski cilindri / potenciometri / X-Sim
AV TURNŠEK Aleksander / SITAR Blaž / ŽELEZNIK Samo
SA REMENIH Uroš / SEITL Vlado / HUDOKLIN Jernej
KZ 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
ZA ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola
LI 2013
IN **PNEVMATSKI SIMULATOR VOŽNJE 2**
TD Raziskovalna naloga
OP *IX, 47 s., 0 tab., 18 sl., 31 prilog*
IJ SL
JI sl / en

AI Namen raziskovalne naloge je bil izdelati pnevmatski simulator vožnje, ki je cenejši od drugih komercialnih simulatorjev vožnje, a je kljub temu konkurenčen po kakovosti. Raziskovalna naloga zahteva znanje tako iz računalniškega kot tudi elektro in strojnega področja. Simulator deluje tako, da računalniški programski paket X-Sim bere podatke o silah iz računalniške simulacije dirkanja, jih obdela ter pošlje na naši krmilni plošči, ki jih pretvorita v električne signale. Ti signali upravljajo pnevmatske ventile in s tem posledično položaje pnevmatskih cilindrov. Tako z dvigovanjem ter nagibanjem šasije na simulatorju ponazarjamo sile, ki delujejo na voznika ob vožnji z dirkalnikom. Te sile so seveda v določenih primerih manjše kot v pravem dirkalniku, saj lahko te sile ustvarimo le s hitrim nagibanjem šasije in ne s premikanjem simulatorja po ravnini. Kako velike bodo te sile, je odvisno od zračnega tlaka, ki ga dovajamo našim cilindrom s kompresorjem. Poleg same šasije simulatorja smo morali izdelati še podstavek zanj, izdelali smo tudi svoj dirkalni sedež, omaro za elektroniko, v katero smo morali vgraditi računalnik, elektro ter pnevmatske dele in jih tudi pravilno zvezali.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2013
CX Simulator / pneumatic cylinders / potentiometers / X-Sim
AU TURNŠEK Aleksander / SITAR Blaž / ŽELEZNIK Samo
AA REMENIH Uroš / SEITL Vlado / HUDOKLIN Jernej
PP 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
PB ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola
PY 2013
TI **PNEUMATIC DRIVING SIMULATOR 2**
DT Research work
NO *IX, 47 p., 0 tab., 18 fig., 31 app.*
LA SI
AL sl/en

AB The aim of the research work is to build a pneumatic driving simulator, which is cheaper than other commercial driving simulators, but still competitive in terms of quality. The research work requires knowledge of computer, as well as the electrical and mechanical engineering. The simulator works in a way that computer software X-Sim reads the data of the forces from a computer racing simulation, processes it and sends it to our control panel, where it is translated into electrical signals. These signals operate pneumatic valves and consequently position pneumatic cylinders. Thus, by raising and tilting chassis of the simulator, it simulates the forces affecting the driver of the virtual car. These forces are, of course, in some cases, lower than those in the real race car because we can only replicate these forces with high-speed chassis tilting, and not with the movement of simulator on a plane. How strong these forces will be depends on the pressure, which is conducted to our cylinders by a compressor. In addition to the chassis of the simulator, we had to make a stand for it as well as a racing seat, electronics cabinet, into which the computer, electrical and pneumatic components had to be installed, and connect them correctly.

KAZALO

KAZALO	V
KAZALO SLIK	VI
1 UVOD	7
1.1 Hipoteze.....	7
2 PREGLED STANJA TEHNIKE	8
2.1 Doma izdelani simulatorji	8
2.2 Komercialni simulatorji.....	10
2.2.1 Motion sim	10
2.2.2 Lotus F1 simulator	11
2.2.3 D-Box.....	11
2.2.4 Forcodynamics	12
2.2.5 Cruden Hexatech.....	12
3 CILJI, METODE RAZISKOVANJA	13
3.1 Strojni del	13
3.1.1 Izdelava podstavka.....	13
3.1.2 Izdelava šasije	16
3.1.3 Izdelava sedeža	18
3.1.4 Posodobitev pnevmatskih cilindrov	19
3.1.5 Namestitev ekrana in volana	20
3.1.6 Priklučitev cilindrov na pnevmatske ventile in priklučitev potenciometrov na kontrolni plošči	21
3.1.6.1 Uporabljen material	22
3.1.6.2 Uporabljena orodja	23
3.1.6.3 Uporabljena zaščitna sredstva.....	23
3.2 Računalniški del	23
3.2.1 Zadnja os	26
3.2.2 Leva in desna os	26
3.3 Elektro in pnevmatski del.....	27
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	31
5 ZAKLJUČEK.....	38
6 POVZETEK	39
7 ZAHVALA	40
8 PRILOGA	41

KAZALO SLIK

Slika 1: Rezanje jeklene cevi	13
Slika 2: Razigljanje jeklene cevi	13
Slika 3: Lasersko rezanje kovine	14
Slika 4: Lasersko izrezan valj	14
Slika 5: Sestavljen podstavek	15
Slika 6: Pobarvan podstavek	15
Slika 7: Vsi deli šasije	17
Slika 8: Dokončana šasija	17
Slika 9: Izdelava sedeža	19
Slika 10: Dokončan sedež	19
Slika 11: Pritrjen potenciometer	22
Slika 12: Potenciometri na vseh cilindrih	22
Slika 13: Tabela MAC naslovov in mostička	24
Slika 14: Pnevmatiki ventili znamke Festo	27
Slika 15: Velleman k8055n na podstavkih	27
Slika 16: Stikala, indikatorske lučke ter gumbi na omarici	29
Slika 17: Hitre spojke ter dušilke zraka	30
Slika 18: FASTON priključki	30
Slika 19: Pritrjen volan ter ekran	41
Slika 20: Pritrjen volan ter ekran	41
Slika 21: Izhodi za zadnji cilinder	41
Slika 22: Izračuni sil za zadnji cilinder	41
Slika 23: Izhodi za sprednja cilindra	41
Slika 24: Izračun sil sprednjih cilindrov	41
Slika 25: Lateralne sile	42
Slika 26: Longitudinalne sile	42
Slika 27: Omejevalec tlaka z lovilcem vlage	42
Slika 28: Plošča elektro omare z vsemi elementi razen dušilk	42
Slika 29: Nameščanje opornih stebrov za cilindre	43
Slika 30: Majhna elektro omara	43
Slika 31: Testni potenciometer	43
Slika 32: Prestavljen cilinder	43
Slika 33: Podaljšan nosilec cilindra	43
Slika 34: Frex GP simulator	44
Slika 35: Simxperience simulator	44
Slika 36: Motionsim simulator	44
Slika 37: Cruden Hexatech simulator	44
Slika 38: Lotus F1 simulator	45
Slika 39: SMC ventili, Velleman k8055n in aluminijast razdelilnik zraka	45
Slika 40: RCD-stikalo, kontaktor in avtomatski varovalki	45
Slika 41: Oporna stebra za cilindra	45
Slika 42: Ventilatorska vrata	46
Slika 43: Model batnice za cilinder	46
Slika 44: Model prečnega nosilca za sprednja cilindra	46
Slika 45: Model šasije	46
Slika 46: Model vzvoda za potenciometre	47
Slika 47: Vožnja s simulatorjem	47
Slika 48: Vožnja s simulatorjem	47
Slika 49: Vožnja s simulatorjem	47

1 UVOD

Namen raziskovalne naloge je bil nadaljevati delo raziskovalne naloge Pnevmski simulator vožnje¹ in na podlagi že pridobljenega znanja izdelati pnevmatski simulator vožnje. Med izdelavo raziskovalne naloge smo tokrat poleg znanja računalništva potrebovali tudi znanje strojništva in elektrotehnike. V raziskovalni nalogi bo opisan postopek izdelave podstavka simulatorja, šasije, dirkalnega sedeža ter nameščanje pnevmatskih cilindrov, elektro elementov v omarico, kot tudi izdelava profila za gibanje simulatorja s programskim paketom X-Sim 3. Za lažje branje pa smo raziskovalno nalogo razdelili na tri večje dele: strojni del, elektro in pnevmatski del ter računalniški del.

1.1 Hipoteze

Izbrali smo si dve hipotezi, ki se navezujeta na izbran projekt, in sicer:

- simulator vožnje je možno, s splošnim znanjem iz področja tehnike in tehnologije, izdelati doma;
- naš simulator vožnje bo konkurenčen drugim komercialnim simulatorjem vožnje.

¹ http://mladiraziskovalci.scv.si/admin/file/oddane_naloge/1281_1153_6_.pdf

2 PREGLED STANJA TEHNIKE

2.1 *Doma izdelani simulatorji*

Pri pregledu doma narejenih simulatorjev smo izvedeli veliko več podrobnosti, saj ljudje, ki svojega izdelka ne nameravajo prodati, radi pomagajo drugim pri izdelavi svojih simulatorjev. Ugotovili smo tudi, da so doma narejeni simulatorju večinoma precej drugačni od komercialnih pa tudi precej drugačni od tistega, ki smo si ga zamislili mi. Večina teh simulatorjev je narejena na preprost način, ki so ga že preizkusili drugi uporabniki ter izkorišča le dve stopnji svobode premikanja.²

Seveda smo našli tudi nekaj simulatorjev, ki so precej podobni našemu. Eden od njih npr. za premikanje uporablja motorje za avtomobilске brisalce. Ta motorja ustvarjata dve stopnji svobode (pospeševanje in zaviranje avtomobila ter ovinki), tretji motor pa skrbi za tretjo stopnjo svobode, ki celotno konstrukcijo simulatorja suče ob zdrsih avtomobila. Ta vrsta tretje stopnje svobode za nas pri tem projektu, zaradi časovne ter denarne omejitve, ni bila izvedljiva, smo si jo pa zabeležili kot možnost za nadaljnjo nadgradnjo našega simulatorja. Sama konstrukcija tega simulatorja za naše potrebe ni dovolj robustna.³

Naslednji doma narejen simulator, ki smo ga pregledali, je za nas, glede na potrebe, sprejemlivejši. Prav tako uporablja tri cilindre, ki pa so, za razliko od naših, električni. Konstrukcija in šasija sta narejeni tako, da omogočata vozniku lahek vstop ter izstop iz simulatorja, a sta še vedno dovolj trdni, da preneseta vse sile ob premikanju. Dobro izdelan se nam je zdel predvsem kovinski del konstrukcije pred sedežem, ki služi kot nastavek za pritrditev volana ter armaturne plošče. Tu smo dobili idejo, da bi lahko ta del služil tudi podpori za dva cilindra, ki bi bila spredaj, zadaj pa bi postavili en cilinder. Tako bi bila celotna konstrukcija bolj trdna kot ob postavitvi cilindrov, ki jih vidimo na omenjenem simulatorju.⁴

²<http://www.x-sim.de/forum/viewtopic.php?f=37&t=270>, 13. oktober 2012

³<http://www.x-sim.de/forum/viewtopic.php?f=37&t=252>, 13. oktober 2012

⁴<http://www.x-sim.de/forum/viewtopic.php?f=37&t=273>, 13. oktober 2012

Pogledali smo si tudi doma narejen simulator, ki omogoča štiri stopnje svobode. To je sicer več, kot smo načrtovali za naš simulator, a je konstrukcija tega simulatorja tako zelo podobna tisti, ki smo si jo zamislili za naš simulator, da smo si morali o tem simulatorju prebrati malce več. Ugotovili smo, da, tako kot naš simulator, tudi ta uporablja pnevmatske cilindre ter enako postavitev le teh. Kot četrto stopnjo svobode pa uporablja prav tako kot prvi doma narejen simulator, ki smo ga opisali kot sistem vrtenja celotne konstrukcije, ki ponazarja zdrse avtomobila. A, kljub zanimivi konstrukciji, smo se odločili, da bo naša malce drugačna. Ob natančnejšem pregledu smo ugotovili, da je takšna postavitev cilindrov precej nestabilna zaradi težišča, ki ni uravnovešeno. To bi pomenilo, da bi cilindri prenašali ogromna bremena zaradi teže konstrukcije ter velikih kotov nagiba. To je na tem simulatorju odpravljen z izjemno močnimi ter velikimi cilindri, ki pa dodajo simulatorju slabo lastnost. Zaradi njihove velikosti je v simulator precej težje vstopati ter izstopati.⁵

Veliko simulatorjev je narejenih tako, da cilindri v bistvu dvigajo platformo. To se navadno uporablja za simulatorje letenja ali pa za simulatorje, kjer se premika šasija celotnega avtomobila. Takšen primer je tudi dirkalni simulator v Ljubljani. Za nas takšne oblike konstrukcije niso bile ravno pomembne, a smo jih vseeno pregledali, če bi našli kakšno pomembno stvar, ki bi jo lahko uporabili pri izdelavi našega simulatorja. Našli smo miniaturni model doma narejenega simulatorja s takšnim načinom izdelave. Za izvedbo treh stopenj svobode uporablja štiri servo pogone. To se nam je zdelo zanimivo, saj bi lahko mi s štirimi cilindri verjetno ponazarjali tudi četrto stopnjo svobode - zdrse avtomobila. Zaradi časovne ter denarne omejitve se za uresničitev te ideje nismo odločili, smo si jo pa zapomnili kot možnost nadgradnje tega simulatorja.⁶

Zadnja oblika konstrukcije, ki smo jo pregledali je narejena tako, da celotna šasija simulatorja visi na nosilcih, ki jo hkrati premikajo. Prednost tega načina izdelave je, da bi lahko dosegli zelo velike kote nagiba šasije in s tem posledično povečali sile, ki delujejo na voznika, a bi s

⁵<http://www.x-simulator.de/forum/3dof-arduino-sabertooth-4-x-24v-wheelchair-motors-t3425.html>, 14. oktober 2012

⁶<http://www.x-simulator.de/forum/overhead-pivot-3dof-winch-motors-t3931.html>, 14. oktober 2012

tem zelo zmanjšali prenosljivost konstrukcije ter otežili vstop ter izstop voznika. Poleg tega je to najmanj preizkušena oblika simulatorjev, zato se za takšno obliko nismo odločili.⁷

Poleg oblike konstrukcije smo si morali izbrati tudi vrsto pogona. Bili smo že odločeni, da bomo uporabili pnevmatske cilindre, ker nam jih lahko priskrbijo mentorji, a smo vseeno pregledali prednosti ter slabosti drugih pogonov, če bomo kdaj v prihodnosti hoteli izboljšati simulator.

Prednost pnevmatskih cilindrov je ugodna cena, zaradi glasnosti, varnosti, čistoče in dobre hitrosti pa so primerni tudi za domačo uporabo. Slabost je, da so pri nižjem zračnem pritisku lahko malce neodzivni, ter nenatančni. Možno je uporabiti tudi hidravlične cilindre, ki so malce dražji od pnevmatskih, a zaradi glasnosti, umazanije ter velikosti niso primerni za domačo uporabo. Imajo pa večjo natančnost ter odzivnost kot pnevmatski cilindri. Električni cilindri stanejo približno enako kot pnevmatski cilindri so prav tako primerni za domačo uporabo, a jih je težje kupiti. Imajo dobro odzivnost, natančnost ter hitrost. Najboljša rešitev so verjetno inteligentni električni cilindri. Ti so izjemno dragi in namenjeni za industrijsko rabo. So zelo tihi ter čisti. Imajo tudi najboljšo odzivnost ter natančnost od vseh naštetih pogonov.

2.2 *Komercialni simulatorji*

Pred izdelavo našega simulatorja smo temeljito pregledali že obstoječe komercialne in doma izdelane simulatorje. Pri vsakem simulatorju smo izpostavili prednosti in slabosti konstrukcije, gibanja, cene in izgleda. Najprej smo se osredotočili na komercialno dobavljive simulatorje, ker preverjeno delujejo, a žal nimamo veliko podatkov o njihovi izdelavi.

2.2.1 *Motion sim*

Ta simulator smo na kratko opisali že v prejšnji raziskovalni nalogi, saj nam je bil navdih za začetek izdelave svojega simulatorja. Prednost tega simulatorja so štiri stopnje svobode, kar pomeni, da se poleg nagibanja levo/desno, dvigovanja in spuščanja, vrti tudi okoli svoje vertikalne osi za 90° v vsako smer. Največji nagib simulatorja ja 30° v vsako stran, kar je veliko v

⁷http://x-sim.de/manual/output_setup.html, 15. oktober 2012

primerjavi z drugim simulatorjem. Simulator je zato še posebej primeren za reli simulacije, saj je tam nagib avtomobila bolj poudarjen. Slabost Motion Sim simulatorja je zahteven vstop v simulator, saj je šasija od tal odmaknjena za več kot 50cm. Od simulatorja s štirimi stopnjami svobode pa bi tudi pričakovali, da se okrog svoje osi lahko zavrti za 360° in ne le za 180°. Cena simulatorja je primerljiva s ceno avtomobila srednjega razreda.⁸

2.2.2 Lotus F1 simulator

Je prvi simulator slovenskega izvora in se kvalificira med simulatorje z dvema stopnjama svobode. Uporablja dva cilindra, ki šasijo v obliki prave Lotus Formule 1 nagibata naprej, nazaj, levo ali desno. Prednosti tega simulatorja so, da je šasija 1:1 replika prave formule 1 in je zato bolj atraktivna, občutek ob dirkanju pa je pristnejši. Dobrodošla lastnost so tudi trije zasloni, ki povečajo vidno polje, a bi le ti lahko bili malce večji. Slabosti Lotus F1 simulatorja pa so nagibi, ki so povezani z volanom in stopalkami, ne pa z vrednostmi sil v igri. To nam daje lažen občutek sil, ki vplivajo na naše telo ob vožnji dirkalnika. Tudi ta simulator je precej dvignjen od tal, kar otežuje vstop in sestop s simulatorja. Ker pa je 1:1 replika pravega dirkalnika, ima omejitve velikosti igralca, saj ni primeren za osebe večje od 195cm ali pa premajhne osebe, saj sedež ni prilagodljiv. S težavo pa ga bodo upravljale tudi osebe, ki so preširoke v bočnem ali ramenskem obroču.⁹

2.2.3 D-Box

Je simulator s tremi stopnjami svobode, a je zasnovan na povsem drugačnih principih kot večina simulatorjev. Drugi simulatorji poskušajo z nagibanjem ponazoriti silo, ki nas "vleče" s sedeža. D-Box uporablja metodo štirih cilindrov, ki šasijo dvigujejo za največ 5cm in povzročajo le sile robnikov, skokov, grbin in nekaj stranskega nagiba. Cela šasija se obnaša kot avtomobil z najtršimi nastavitvami za podvozje. Prednost takega sistema je, da ne zavzame veliko prostora, saj šasiji dodamo štiri majhne cilindre in osrednjo kontrolno enoto. Izjemna lastnost je, da podpira preko 50 iger. Slabost D-Boxa je predvsem njegova cena, ki se giblje okrog 10.000 €, kar je, glede na to kar ponuja, zelo veliko. Ti simulatorji tudi nimajo veliko

⁸<http://www.motion-sim.cz/index.php/motion-spec>, 16. oktober 2012

⁹http://www.f1simulator.si/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=4, 16. oktober 2012

nagiba, zato ne morejo poustvariti sil, ki vplivajo na voznika v takšni meri kot jih lahko drugi simulatorji.¹⁰

2.2.4 Forcedynamics

Forcedynamics je eden uspešnejših simulatorjev s štirimi stopnjami svobode in je merilo za mnoge doma izdelane simulatorje v tej kategoriji. Med drugimi tudi naš simulator deli nekaj podobnosti. Prednosti Force Dynamics simulatorja so štiri stopnje svobode in se, podobno kot Motion Sim, okoli svoje osi lahko zavrti za 180°. Ena boljših možnosti tega simulatorja je možnost treh zaslonov ali pa ukrivljenega platna s tremi projektorji za 180° vidnega kota. Slabost simulatorja je vstopanje in izstopanje, saj je šasija močno dvignjena od tal. Največja teža igralca je lahko 127 kg, podatki o višini pa niso na voljo.¹¹

2.2.5 Cruden Hexatech

Je med najboljšimi simulatorji na svetu, saj ga uporabljajo Formula 1 ekipe za treniranje svojih voznikov pred dirkami, ter preizkušanje nastavitve avtomobila. Ima šest stopenj svobode, kar pomeni, da ima poleg običajnega nagiba naprej/nazaj, levo/desno, dvigovanja in spuščanja tudi nihanja naprej/nazaj in levo/desno. Večina simulatorjev poskuša z nagibi nadomestiti sile, ki delujejo na voznika, a jim postavitev cilindrov tega ne mogoča. Cruden uporablja šest cilindrov v trikotni postavitvi, ki omogoča majhno nihanje brez nagiba. Če bi imeli dovolj velik prostor bi z nihanjem najbolje prikazali sile. Ker bi bilo tak simulator nemogoče izdelati, si pomagamo z nagibi šasije. Prednosti tega simulatorja so šest stopenj svobode, možnost za do 5 ekranov do velikosti 42" (diagonala 107 cm) ali tri projektorje in ukrivljeno platno za 180° vidnega kota, možnost prilagoditve simulatorja za katerikoli avtomobil. Na platformo simulatorja je možno pritrditi katerikoli avtomobil, kar pa ustvari občutek pristnosti ob dirkanju. Slabosti tega simulatorja za ponujeno skoraj ni. Večina bi najprej izpostavila ceno, ki se giblje od 120.000 € naprej, a moramo imeti v mislih, da simulator take vrste ni namenjen domači uporabi.¹²

¹⁰ http://www.d-box.com/en/consumer/home_game, 16. oktober 2012

¹¹ <http://www.force-dynamics.com/401/specs401.php>, 16. oktober 2012

¹² <http://www.cruden.com/motorsport/our-products/simulators/>, 16. oktober 2012

3 CILJI, METODE RAZISKOVANJA

3.1 Strojni del

Izdelavo simulatorja smo si razdelili na več delov. S tem smo imeli večji pregled nad tem, kar smo že naredili in kar smo še mogli.

Izdelavo smo razdelili na naslednje sklope:

- izdelava podstavka (poglavje 3.1.1),
- izdelava šasije (poglavje 3.1.2Izdelava podstavka),
- izdelava sedeža (poglavje 3.1.3),
- posodobitev pnevmatskih cilindrov (poglavje 3.1.4),
- namestitev ekrana, volana in sedeža (poglavje 3.1.5),
- priključitev cilindrov na pnevmatske ventile in priključitev potenciometrov na kontrolne plošče (poglavje 3.1.6).

3.1.1 Izdelava podstavka

Iz jeklene cevi 40×60 mm smo narezali tri 1000 mm cevi in dve 500-milimetrske cevi. Za rezanje smo uporabili žago za rezanje kovine WD Technik (Slika 1). Cevi smo nato zbrusili in raziglili po robovih (Slika 2). Na dveh metrskih ceveh smo na enem koncu odrezali kot 60°, na eni metrski cevi pa smo odrezali dva kota 60°, tako da sta se kota stikala na sredini cevi. Na polmetrskih ceveh smo na enem koncu odrezali kote na enak način kot pri metrskih ceveh.



Slika 1: Rezanje jeklene cevi



Slika 2: Razigljanje jeklene cevi

Podstavek smo zavarili tako, da smo na sredino postavili metrsko cev, ki je imela na obeh straneh odrezana kote 60° . Sprednji del podstavka smo sestavili tako, da smo dodali ostali dve metrski cevi in ju pod kotom 120° od glavne cevi privarili na glavno cev. Zadnjo stran smo sestavili tako, da smo dodali dve polmetrski cevi in ju privarili na glavno cev pod kotom 120° , enako kot prednji dve cevi.

Na računalniku, ki je povezan na laserski rezalnik kovin Varlaser (Slika 3), smo si izbrali krog premera 120 mm. Vanj smo vrisali 4 manjše kroge premera 20 mm, tako da smo dobili obliko valja (Slika 4). Narisali smo 6 takšnih valjev. Ti valji so nam služili za stabilnost simulatorja. V laserski rezalnik smo vstavili jekleno ploščo debeline 3 mm in izrezali vseh 6 valjev. Robove smo raziglili in jih namestili na vsak konec cevi, ki so privarjene na glavno cev in na spoj, kjer so privarjene glavna cev in stranske cevi. Z laserskim rezalnikom smo izrezali še 3 kroge premera 120 mm, ki smo jih privarili na stransko jekleno cev. Kroge smo privarili na sprednjem delu podstavka, 400 mm od spoja glavne in stranske cevi, na glavni cevi pa smo krog privarili 300 mm od spoja z zadnjimi stanskimi cevmi (Slika 5).



Slika 3: Lasersko rezanje kovine



Slika 4: Lasersko izrezan valj

Na vsak krog smo privarili dva jeklena U-profila, dolžine 600 mm. U-profile smo na strani, ki smo jo privarili na krog, odrezali pod kotom 15° , razen na dveh U-profilih, ki sta se privarila na glavno cev. Med testiranjem smo ugotovili, da nam podstavek v različnih pozicijah cilindrov zaradi teže rado lomi, zato smo stranske cevi večkrat odrezali in privarili pod

drugim kotom. Najprej smo poskusili kot 90° od glavne cevi, vendar so bili rezultati testiranja slabši kot prej. Ugotovili smo, da podstavek bolj lomi, če je kot med stransko in glavno cevjo majhen. Stranske cevi smo nato privarili pod kotom 105° od glavne cevi. Na sprednjih stranskih ceveh smo zvrtili 4 luknje za pritrnitev cilindrov. Razdaljo med luknjami smo prilagodili nosilcu za cylinder, ki smo ga nato pritrtili na stransko cev z štirimi vijaki. Za zadnji cylinder smo na glavni cevi zvrtili 16 lukenj, da smo lahko med testiranjem zadnji cylinder prestavljali po cevi.

Na vseh štirih stranskih ceveh smo 50 mm od konca cevi izrezali luknje za nogice. Vse luknje smo opilili. Na podstavek smo pritrtili nogice, ki se običajno uporabljajo za omare. Prednost teh nogic je, da lahko simulator postavimo na neraven teren, nogice pa nato nastavimo po višini. S tem smo dosegli, da se podstavek in posledično cel simulator ne gugata med delovanjem. Podstavek smo pri sprednjem spoju odrezali in nanj privarili manjši U-profil širine 50×30 mm in dolžine 80 mm. Na njem smo zvrtili 6 lukenj, po dve na vsaki strani. Enako smo naredili na odrezanem koncu postavka. Luknje smo opilili in na notranji strani privarili matice. Matice nam služijo za pritrnitev obeh delov podstavka, saj se podstavek težko prevaža v enem kosu, ker je zelo velik (predvsem sprednji del). Na sprednjih stranskih ceveh smo zvrtili luknjo za dovod zraka in kabla za potenciometra. Na zadnji strani podstavka smo zvrtili tri luknje, kjer so cevi in kabli pripeljani iz podstavka in se lahko priklopijo na elektro omarico. Oba dela podstavka smo skupaj s šasijo pobrusili in razmastili, nato pa z lakirno pištolo pobarvali s črno barvo (Slika 6).



Slika 5: Sestavljen podstavek



Slika 6: Pobarvan podstavek

3.1.2 Izdelava šasije

Za razliko od podstavka smo pri šasiji potrebovali več jeklenih cevi velikost 40×60 mm. Ker je šasija simetrična, smo morali narezati več kosov jeklenih cevi. Narezali smo dva kosa dolžine 800 mm, štiri kose dolžine 570 mm, dva kosa dolžine 515 mm in dva kosa dolžine 400 mm. Cevi, dolžine 800 mm, smo uporabili kot glavne cevi na šasiji. Predvideli smo jih za pričvrstitev sedeža na šasijo. 800 mm cevi smo na obeh straneh odrezali pod kotom 60°. Enako smo naredili tudi na ceveh dolžine 570 mm (Slika 7). 800 mm cevi smo na vsaki strani privarili po eno cev dolžine 570 mm. Kot med glavno cevjo in 570 mm cevmi je moral biti 120°. Na sprednjem delu smo na 570 mm cev privarili cev dolžine 515 mm. To cev smo prej odrezali na enem koncu pod kotom 60°. Enako smo naredili tudi na drugi 800 mm cevi, tako da smo na koncu dobili dva enaka dela šasije. Da smo dela povezali med sabo smo uporabili štiri 400 mm cevi. Dve smo privarili na konec 800 mm cevi, kjer sta že bili privarjeni 570 mm dolgi cevi. Eno cev smo privarili na zadnjem delu, na koncu 570 mm cevi, eno pa smo privarili 200 mm od zadnjega dela šasije, na 800 mm cev. Na sprednjem delu smo uporabili dve 40 mm cevi, velikosti 40×40 mm. Privarili smo ju nad spoj med 570 mm in 515 mm cevmi in na vrhu 515 mm dolge cevi. 100 mm od začetka 800 mm cevi smo privarili U-profil dolžine 500 mm. Privarili smo ju pod kotom 80°. Držalo za volan smo naredili iz več manjših cevi, ki smo jih privarili na vsako stran 200 mm cevi. Na desno glavno cev smo privarili 200 mm cev, ki nam služi pa pritrditev sedeža na šasijo. Na sprednji 400 mm cevi smo na sredini privarili jekleno oporo za kovinsko ploščo, na kateri so pritrjene stopalke. Kovinsko ploščo smo izrezali z laserskim rezalnikom Varlaser in tretjino plošče zavili za 15°.

Glede na dolžino med luknjami na ekranu smo na sprednji strani simulatorja privarili ušesa, na katerih smo zvrtili luknje za pritrditev ekrana. Na zadnji strani smo zvrtili luknjo za ušesa, za pritrditev zadnjega cilindra. Enako smo naredili tudi na obeh U-profilih, kjer smo zvrtili luknje za levi in desni cilinder. Najprej smo izdelali ušesa iz aluminijastega bloka. Vzeli smo blok velikosti 65×50×50 mm. Po sredini bloka smo z rezkalnim strojem naredili utor širine 20 mm in višine 45 mm. 15 mm od vrha bloka smo zvrtili luknjo za sornik. Na spodnji strani smo točno na sredini zvrtili luknjo za vijak, ki je ušesa pritrtil na šasijo. Izdelali smo tri taka ušesa, ki smo jih z vijaki pritrtili na šasijo. Vijaka nismo do konca zategnili, saj so se morala ušesa obračati glede na lego glave cilindra. Tekom testiranja smo ugotovili, da se bo vijak

kmalu uničil, saj se je stalno obračal skupaj z ušesom. Namesto aluminijastih ušes smo odrezali 3 kose U-profila, dolžine 60 mm. Te smo privarili na mesta, kjer smo prej pritrdili aluminijasta ušesa. Ti so za razliko od prejšnjih fiksno pritrjeni na šasijo. Za obračanje glave cilindra pa smo uporabili kroglični zglob, enak kot ga lahko najdemo na traktorski hidravliki. Zvrtali smo luknje za sornike in cilindre pritrdili na šasijo in podstavek. Ugotovili smo, da se ta ušesa bolj obnesejo kot prejšnja, zato smo se odločili, da jih obdržimo.

Za sornike za pritrditev cilindrov smo vzeli vijake, ki smo jim naredili distančnike. Za vsak cilinder smo naredili dva distančnika. Distančniki so narejeni iz aluminijaste palice in so pobrušeni v obliko stožca. Distančnike smo uporabili zato, da se glava cilindra ne vozi po sorniku, saj so ušesa 50 mm narazen, glava cilindra pa je široka samo 20 mm. Na šasiji smo najprej pobrusili zware. Te smo pobrusili z kotnim brusilnikom DeWalt. Nato smo celo šasijo zbrusili z brusnim papirjem. Na koncu smo jo razmastili z razredčilom in jo skupaj s podstavkom pobarvali (Slika 8).



Slika 7: Vsi deli šasije



Slika 8: Dokončana šasija

3.1.3 Izdelava sedeža

Na začetku smo sponzorsko dobili dirkalni sedež znamke OMP. Kmalu smo ugotovili, da je bil sedež pretesen, saj je narejen za dirke tipa drift. Odločili smo se, da izdelamo svoj dirkalni sedež. S podjetjem Cameleon Production smo se dogovorili za izdelavo dirkalnega sedeža. V njihovi delavnici smo si sposodili kalup za izdelavo sedeža, ki je drugače v lasti mentorja, g. Remeniha. Kalup smo najprej pobrusili z brusim papirjem. Morali smo biti zelo natančni, da smo zbrusili vse grbine, ki so se naredili na kalupu. Najprej smo kalup prebarvali z ločilcem Formula Five in pustili sušiti okoli 10 minut. Za tem smo nanесли »Gelcoat«, material, uporabljen za zagotavljanje visoke kakovosti na vidni površini steklenih vlaken (Slika 9). Nato smo začeli nanašati stekleno mato v kombinaciji s steklenimi vlakni. Vsakič, ko smo z vlakni prekrili kalup smo ga premazali s poliestrsko smolo, da so se vlakna sprijela. Po vsakem nanosu smo z valčkom povaljali kalup z nanešeno plastjo vlaken, da smo sprostili zrak, ki se je nabral med vlakni in kalupom. S tem smo tudi preprečili, da bi nam sedež začel pokati in bi se lahko razletel. Nanesli smo tri plasti steklenih vlaken in vsako plast premazali z poliestrsko smolo ter sprostili zrak. Kalup z nanešenimi vlakni smo pustili sušiti skozi noč, nato pa so nam kolegi iz Cameleon Productions pomagali nanesti še več plasti poliestrskih vlaken na kalup. Kalup z vlakni smo pustili sušiti nekaj dni, da so se vlakna strdila. Dobljen sedež smo vzeli s kalupa, mu porezali odvečna vlakna in s poliestrskim kitom popravili neravnine na sedežu. Da smo lahko sedež pritrldili na šasijo smo ga morali fiksirati na sani avtomobilskega sedeža. Sanem smo odstranili nepotrebno plastiko in priklop za varnostni pas. Iz steklenih vlaken smo še izdelali spodnji del sedeža, na katerem smo zvrtdli luknje in ga pritrldili na sani.

Sedež smo peljali na HTZ d.o.o, kjer so nam ga sponzorsko oblekli v umetno usnje (Slika 10). Sedež so nam oblekli v črno usnje s kombinacijo oranžnega, dodali pa so še svoj logotip. Sedež smo z vijaki pritrldili na šasijo. Na desni strani smo iz aluminijastih blokov naredili držalo za menjalnik. Prednost sedeža je, da si ga lahko vsak voznik nastavi po dolžini, saj stoji na saneh. Sedež je dovolj tesen, da ne potrebujemo varnostnega pasu, po drugi strani pa je dovolj širok, da lahko vanj sedejo ljudje z močnejšo postavo.



Slika 9: Izdelava sedeža



Slika 10: Dokončan sedež

3.1.4 Posodobitev pnevmatskih cilindrov

Ker je bila dolžina cilindra v iztegnjenem stanju 500 mm, smo morali cilindre predelati. 500 mm je bila prevelika dolžina, saj se je težišče simulatorja spremenilo, kar je povzročilo lomljenje podstavka. V vsak cilinder smo vstavili jekleno cev, ki služi kot distančnik, premera 45 mm in dolžine 200 mm, da smo omejili višino iztegnjenega cilindra na 300mm. Tu je nastal problem, saj je bat v cilindru, ki je dušil zrak na začetku in koncu cilindra, sestavljen iz enega dela. Tako smo na eni strani imeli dušenje, na drugi strani pa je jeklena cev udarjala v vrh cilindra s polno hitrostjo. Ker takšno udarjanje ni primerno, saj lahko uničimo cilinder smo se odločili, da izdelamo po en bat za vsak cilinder. Iz odsluženega cilindra smo vzeli bat, ki smo ga priredili v našo korist. Batu smo vrezali utor za distančnik. Namestili smo ga v cilinder in s tem pridobili na dušenju zraka še na drugi strani.

Tekom raziskovanja o delovanju cilindrov v povezavi s programom X-Sim smo ugotovili, da moramo uporabiti potenciometre, ki služijo temu, da programu povedo, na kakšni višini se cilinder nahaja. Dobili smo tri potenciometre Festo MLO-POT-450-TLF, ki smo jih namestili na zadnjo stran cilindra. Iz aluminijaste plošče smo z laserskim rezalnikom izrezali tri vodila za pozicijo potenciometra.

Vsa vodila so dolžine 400 mm in širine 50 mm, vendar smo na eni strani 80 mm vodila ukrivili za 90°, na drugi strani pa smo 15 mm vodila ukrivili za 90°, vendar v drugo smer. Na daljšem ukrivljenem koncu vodila smo izrezali luknjo premera 19 mm, na krajšem koncu pa luknjo premera 8 mm. Daljši konec vodila smo z matico pritrdili na glavo cilindra, krajši konec pa na vodilo na potenciometru. Na potenciometre smo še prispajkali kable in jih preizkusili s programom. Potenciometre smo povezali na kontrolno ploščo. Ker ima kontrolna plošča samo dva analogna vhoda, smo dobili še eno enako kontrolno ploščo. Tako smo levi in desni potenciometer povezali s prvo kontrolno ploščo, zadnji potenciometer pa z drugo.

3.1.5 Namestitev ekrana in volana

Ekran smo najprej pritrdili na sprednji del šasije, kjer smo si že vnaprej pripravili luknje in ušesa za pritrditev ekrana. Na ekran smo priključili napajanje, povezali smo ga z grafično kartico in z zvočno kartico, saj so v ekranu vgrajeni zvočniki. Vse kable smo speljali ob ceveh, kjer smo jih na samolepilna držala pritrdili z vezicami.

Volan, ki smo ga dobili je sestavljen iz treh delov: volana, stopalk in menjalnika. Volan smo z zatiči, ki so vgrajeni v volanu pritrdili na jekleno cev, ki smo jo že vnaprej privarili kot držalo za volan. Volan smo namestili na sredino cevi (Slika 19, Slika 20). Stopalke smo pritrdili na jekleno ploščo, ki smo jo privarili med izdelavo šasije. Stopalke smo postavili na del plošče, ki smo ga prej zakrivili. Med preizkušanjem delovanja smo ugotovili, da so bile stopalke preblizu druga drugi, zato smo stopalki za plin in zavoro prestavili skrajno desno, stopalko za sklopko pa skrajno levo. S tem smo pridobili nekaj prostora med stopalkami, saj se nam je v prejšnjih primerih pripetilo, da smo medtem, ko smo pritisnili stopalko za zaviranje pomotoma zraven pritisnili še stopalko za sklopko. Stopalke smo na ploščo pritrdili z obojestranskim lepilnim trakom, ki je dovolj močan, da stopalk ne moremo kar tako odlepiti. Menjalnik smo pritrdili na aluminijast blok, ki smo ga pritrdili na sedež. Tudi menjalnik ima vgrajene enake zatiče kot volan, zato ga ni bilo težko pritrditi. Kabel od stopalk in menjalnika smo ob ceveh napeljali do volana, kjer smo ju priključili. Iz volana smo napeljali en kabel do računalnika, drug kabel pa smo pripeljali do volana iz napajalnika, ki je posebej narejen za volan. Napajalnik smo z obojestranskim lepilnim trakom pritrdili pod jekleno ploščo, tako da ni viden.

3.1.6 Priklučitev cilindrov na pnevmatske ventile in priklučitev potenciometrov na kontrolni plošči

Pnevmatske cilindre smo najprej pritrdili na podstavek simulatorja (Slika 11, Slika 12). Na podstavek smo na mestu, kjer smo že prej zvrtili luknje privili držalo za cilindar. Spodnji del cilindra, kjer ima ušesa smo vstavili na držalo in skozi potisnili sornik, ki je iz obeh strani zavarovan z varovali, da cilindar ne more iz držala. Na zgornji strani smo glavo cilindra pritrdili na šasijo simulatorja s sornikom, ki smo ga izdelali sami. Ker je sama šasija kar težka, smo jo podložili s stolom, da smo lahko pritrdili vse tri cilindre hkrati. Na cilindre smo nato priklučili cevi za zrak. Odločili smo se, da uporabimo neprozorne modre cevi za odvod zraka iz cilindra, prozorne modre pa za dovod. Cevi smo skupaj s kabli za potenciometre speljali po ceveh podstavka, da smo se znebili zmešnjavi kablom okoli simulatorja. Na drugi konec cevi za zrak smo pritrdili spojke za hiter odklop zraka. Te nam omogočajo, da lahko na hiter način priklopimo in odklopimo dovod zraka za posamezen cilindar. To nam koristi, če bomo simulator prestavljali, da ga lahko hitro priklopimo nazaj na dovod zraka.

Potenciometre smo priklučili na 12V napetost. Kabel za potenciometre smo najprej napeljali po ceveh podstavka, nato pa mu pri potenciometru namestili glavo, ki smo jo priklučili na potenciometer. Na drugi strani kabla smo kabel pritrdili v plastičen vtič, tako da lahko potenciometre priklučimo na napetost na enak način kot se prikluči napajanje v računalniku, na matično ploščo. Del, kamor priklučimo potenciometre pa smo naprej priklučili na analogne vhode kontrolnih plošč in na 5V. Več o priklučitvi potenciometrov lahko preberete v elektro delu raziskovalne naloge (poglavje 3.3).



Slika 11: Pritrjeni potenciometer



Slika 12: Potenciometri na vseh cilindrih

Med samo izdelavo simulatorja smo porabili veliko materiala, ki smo ga pretežno dobili v šoli, nekaj materiala pa smo morali kupiti.

3.1.6.1 Uporabljen material

- jeklene cevi 40 mm × 60 mm – pribl. 10 m,
- jeklena plošča debeline 3 mm – pribl. 2 m²,
- jeklen U-profil 40 mm × 60 mm – pribl. 4 m,
- plastični čepi za cevi – 12 kosov,
- steklena mata s steklenimi vlakni – pribl. 20 m²,
- ločilec Formula Five – pribl. 0.5 l,
- Gelcoat – pribl. 1 l,
- poliestrska smola – pribl. 5 l,
- črna matte barva – 0.5 l,
- nitro razredčilo – 1 pločevinka.

3.1.6.2 Uporabljen a orodja

- žaga z emulzijo (tekočina za hlajenje) WD TEHNIK,
- stroj za laserski izrez kovin Varlaser,
- stroj za varjenje Varmig,
- kotni brusilnik DeWalt,
- pile Unior,
- stebni vrtalnik ALZ Metall,
- izvijači Unior,
- brusni papir.

3.1.6.3 Uporabljen a zaščitna sredstva

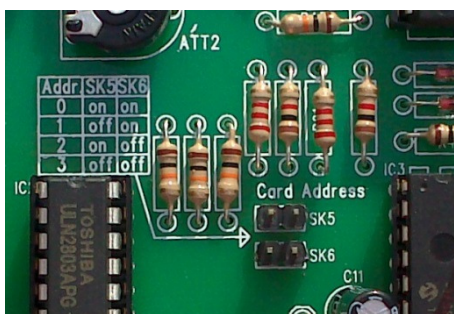
- zaščitna obleka,
- zaščitne rokavice,
- zaščitna očala.

3.2 *Računalniški del*

Tudi letos smo za izvoz sil uporabljali programski paket X-Sim¹³. Ker je program vedno v razvoju smo z verzije 2.1 prešli na verzijo 3.0, ki deli precej podobnosti s staro različico, a ima nekaj novih funkcij in je precej stabilnejša. Posamezne programe pa so v različici 3.0 preimenovali tako, da se Force Profiler v novi različici imenuje X-Sim Converter, Force Sender pa se v novi različici imenuje X-Sim Extractor. Ker imamo sedaj 2 kontrolni plošči in 6 ventilov se je naše delo v programu podvojilo, saj je bilo potrebno parametre za izvoz sil nastavljati za vsako ploščo posebej.

¹³<http://www.x-sim.de>

Za priklop dveh kontrolnih plošč Velleman k8055n smo na vsaki plošči morali odstraniti po en mostiček s čimer smo fizično spremenili MAC¹⁴ naslov vsake plošče (Slika 13). Ker ima vsaka kontrolna plošča po dva mostička, s tem 4 možne pozicije mostičkov nam omogoča da na en računalnik priključimo največ 4 kontrolne plošče istega tipa.



Slika 13: Tabela MAC¹⁴ naslovov in mostička

Programski paket X-Sim ob pravilni konfiguraciji večih kontrolnih plošč Velleman k8055n vse plošče takoj prepozna in vse vhode in izhode označi z zaporedno številko kontrolne plošče. To nam je pomagalo, ko smo nastavljali pogoje, kjer se aktivirajo ventili na eni ali na drugi kontrolni plošči Velleman. Aktivacija ventilov se v programu X-Sim imenuje "speed" (slov.: hitrost). Različne hitrosti dosežemo z različnim tlakom za ventile priključene na posamezno kontrolno ploščo Velleman, a ta postopek smo že opisali v elektronskem in pnevmatskem delu raziskovalne naloge (poglavje 3.3). V našem primeru dve hitrosti nastavimo tako, da pri prvi hitrosti uporabljamo samo ventile na prvi kontrolni plošči Velleman, ki so pod nižjim tlakom, ventile na drugi kontrolni plošči pa aktiviramo, le ko je sila večja od določene s drsnikom v programu Converter programskega paketa X-Sim. Pri prvi hitrosti je potrebno za vsak ventil vnesti 5 parametrov. Ti parametri nam v pozitivni smeri premikanja cilindra pošljejo signal na digitalne izhode kontrolne plošče Velleman in počistijo signal na digitalnem izhodu za negativno smer premikanja cilindra za pripadajoč ventil.

Za premikanje cilindra v negativno smer je potrebno postopek ponoviti in zamenjati izhoda. Ko simulator ustavimo je potrebno vse cilindre spustiti do najnižje točke zato smo vse digitalne izhode, ki cilindre premikajo v negativno smer nastavili na vrednost 1, vse ostale digitalne izhode pa smo nastavili na vrednost 0. Pravilna nastavitvev digitalnih izhodov pa je pomembna

¹⁴ Media access control address (Identifikacijski naslov kartice)

zato ker so pnevmatski ventili grajeni tako, da imajo tri možne položaje, v istem trenutku pa je lahko samo v enem položaju. Ti trije položaji so: zaprt (ventil ne prepušča zraka), levi odprt (zrak prepušča do levega izhoda) in desni odprt (zrak prepušča do desnega izhoda) (Slika 21, Slika 23). Pri drugi hitrosti ves postopek ponovimo za digitalne izhode na drugi kontrolni plošči Velleman. Ko smo nastavili vse izhode za delovanje je bilo potrebno še nastaviti vse izhode na vrednost 0. Na prvi hitrosti smo na vrednost 0 nastavili vse izhode druge kontrolne plošče Velleman, na drugi hitrosti pa vse izhode prve kontrolne plošče Velleman. Naj še omenimo, da je potrebno izhode nastavljanje za vsak cilinder posebej, tako da imamo za vsak cilinder ustvarjeno svojo os, kjer upravljamo po dva izhoda na vsaki hitrosti. Ker pa program Converter za pravilno delovanje potrebuje referenčno pozicijo vsakega cilindra ob kateremkoli trenutku imamo na analogne vhode kontrolne plošče povezane tri potenciometre, ki so pritrjeni ob bok cilindra, s pomočjo vzvodov pa se premikajo vzporedno z batnico cilindra. Ker ima program ves čas informacije o tem, kje se nahaja cilinder lahko cilindre upravljamo zelo natančno. Pri natančnosti nas ovirajo le fizikalne lastnosti zraka. Ker je zrak stisljiv in ga dovajamo pod tlakom je skoraj nemogoče doseči kratke in gladke premike.

Najpomembnejšo vlogo pri signalih pa ima program X-Sim Extractor, ki iz igre pridobiva podatke o silah. Način pridobivanja podatkov se od prejšnje različice ni spremenil, spremenil pa se je uporabniški vmesnik, ki sedaj omogoča več možnosti za igre, ki s strani razvijalcev niso uradno podprte. Ker uporabljamo le igre, ki so uradno podprte teh možnosti nismo rabili. Za vsako igro, ki je podprta je potrebno ustvariti profil, kjer programu povemo katero igro bomo uporabljali, ali bomo uporabili posebne nastavitve za določen dirkalnik ali progo, izberemo kateri volan imamo, tip simulatorja (v našem primeru pnevmatski) in vrsta simulatorja glede na stopnje svobode (naš ima tri stopnje svobode). Ko je profil shranjen je potrebno izbrati še vtičnik, ki prikazuje sile iz igre. Ta 10 mestne virtualne vrednosti g sil pretvori v realne vrednosti G sil(npr.: 10 mestno vrednost za g-silo pretvori v realno vrednost 1,5G). Naslednja naloga programa X-Sim Extractor je pošiljanje vrednosti do programa X-Sim Converter, ki mu v matematičnih izračunih nastavimo katere sile naj izpisuje na kateri izmed treh osi.

3.2.1 Zadnja os

Na osi za zadnji cilinder ponazarjamo predvsem sile pospeševanja, zaviranja in tresenja ob menjavanju prestav. Ker se lahko vsak cilinder na enkrat odziva le na en signal smo tudi programsko omejeni le na eno končno vrednost, ki jo program pošlje na digitalne izhode. Če imamo v matematičnih nastavitvah izpis le ene sile nam ni potrebno spreminjati dodatnih nastavitvev. Če pa imamo več sil moramo nastaviti kako bo vsaka sila vplivala na skupno vrednost. Program nam ponuja možnosti prepisa vrednosti, seštevanja k preostalim vrednostim, množenja z ostalimi vrednostmi ali pa neupoštevanja sile (Slika 22). Za izpis sile moramo vstaviti "1:1 GForce", ki mu nastavimo Longitudinalno silo in obseg g sil, ki delujejo na dirkalnik pri pospeševanju in zaviranju (Slika 26). Igra Live for Speed za silo 1G izpiše vrednost 1.000.000. Pri pospeševanju in zaviranju se nastajajo sile do 4G, kar pomeni, da za maksimalno vrednost vpišemo 4.000.000, predpisane minimalne vrednosti pa ni, zato jo nastavimo med samim testiranjem. Manjša kot je ta vrednost, hitreje se aktivira simulator.

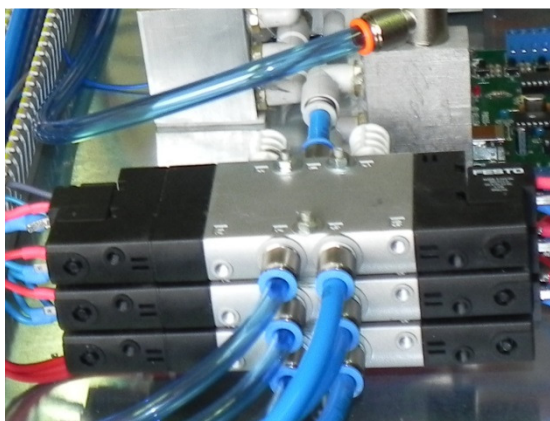
3.2.2 Leva in desna os

Na levem in desnem cilindru moramo ponazoriti lateralne sile (sile v ovinku, Slika 25), kot tudi longitudinalne sile (sile ob pospeševanju/zaviranju, Slika 26), ker je program zasnovan tako, da na digitalne izhode pošlje dominantno silo. Če bomo v matematični izračun vstavili obe sili nam bo izpisovalo le večjo, kar pa bo pokvarilo občutek, če bi na primer zavirali in hkrati tudi zavijali, saj bi na enem cilindru prikazovali silo zaviranja, na drugem pa silo zavijanja. Za takšne primere ima program X-Sim Converter vgrajeno funkcijo "Copy and Combine" (Slika 24), ki dane sile zapiše v svojo spremenljivko, ki jo lahko združujemo z drugimi spremenljivkami, ki jih ustvari funkcija "Copy and Combine". Funkcija nam omogoča, da za levi in desni cilinder vstavimo izpis sil za lateralne sile, kjer nastavimo aktivacijo med 0,01G in 2,5G, kar je za večino dirkalnikov največja sila v ovinkih (izjema so nekateri hitri ovinki v Formula 1 dirkalnikih). Ker želimo z lateralno silo doseči nagibanje je potrebno vrednosti ene izmed osi obrniti tako, da se ob dvigovanju enega cilindra drugi spušča. Samo z lateralnimi silami dosežemo osnovni učinek nagibanja v ovinkih, ki sicer poudari sile, a so tako nagibi v vseh vrstah ovinkov maksimalni. To pa pomeni, da v vseh ovinkih prikazujemo enako silo ne glede na zahtevnost ovinka ali hitrost avtomobila. Napako smo odpravili tako, da smo dodali

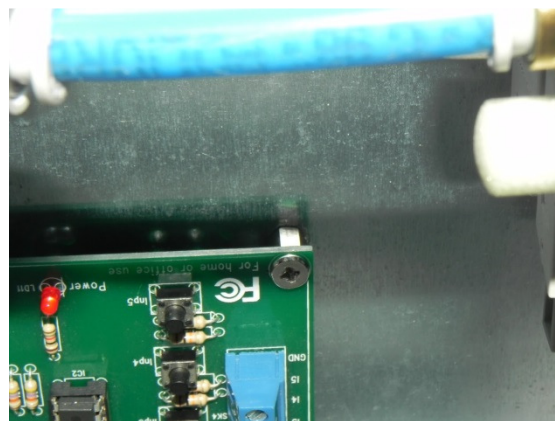
še sili za pospeševanje in zaviranje, ki sta klon zadnje osi, a imata obrnjene vrednosti, da dosežemo učinek nagiba naprej ali nazaj (ko se zadnji cilindre dviguje se oba sprednja cilindra spuščata in obratno). Tudi za te sile smo morali uporabiti funkcijo “Copy and Combine”, ki združi vse sile v eno spremenljivko, ki upošteva vse tri dodane sile in jih izpiše na digitalne izhode kot kompromis med silami. Ker pa je za nastavljanje vsake osi potrebno veliko dela program X-Sim Converter vsebuje možnost, ki os klonira (sami smo izdelali matematiko za levo os in jo klonirali za desno os) in nam na ta način ni bilo potrebno dvakrat delati iste stvari, kar pa zmanjša možnosti za napake.

3.3 Elektro in pnevmatski del

Začeli smo z elektro omaro velikosti 1000×1000×300 mm (višina×širina×globina). Na ploščo smo razvrstili vse elemente, ki upravljajo naše pnevmatske cilindre. Začeli smo s pritrditvijo treh pnevmatskih ventilov znamke Festo in prve kontrole plošče Velleman k8055n. Ploščo k8055n smo pritrdili s podstavki za pritrditev matičnih plošč v računalniško ohišje in vijaki (Slika 15), pnevmatske ventile pa z M3-navojnimi palicami ter maticami.



Slika 14: Pnevmatični ventili znamke Festo



Slika 15: Velleman k8055n na podstavkih

Pod prve tri ventile ter ploščo smo v enaki postavitvi pritrdili še druge tri ventile, ki pa so bili znamke SMC ter drugo ploščo Velleman k8055n. Na prve tri ventile smo žice prispajkali neposredno na kontakte in jih zaščitili s termoskrčljivimi cevmi. Pri ventilih znamke Festo (Slika 14) smo rdeče žice povezali na digitalne izhode prve kontrolne plošče Velleman

k8055n, modre žice pa smo skupaj povezali na en izvor 24V. Zraven ventilov znamke SMC pa smo dobili konektorje s vodniki za lažje pritrjevanje brez spajkanja. Ponovno smo skupaj zvezali modre žice na en izvor 24VDC, rjave žice pa na digitalne izhode druge kontrolne plošče Velleman k8055n. Zgoraj na desni strani od ventilov smo pritrdili RCD¹⁵-stikalo, zaščitna stikala in kontaktor.

RCD-stikalo je drugi element v naši električni vezavi. Pred njim je zvezana le kontrolna LED¹⁶ dioda, ki zasveti, če je električni kabel vključen. Iz RCD-stikala fazni in ničelni vodnik napeljemo do kontaktorja in dveh varovalnih stikal. Kontaktor izklapljamemo s stikalom na ključ ali z varnostnim zaskočnim stikalom. Iz kontaktorja pa žice vodijo do transformatorja, ki 230V AC¹⁷ pretvori v pnevmatskim ventilom prijaznih 24V DC¹⁸. Ob pritisku na varnostno zaskočno stikalo ali zasuk ključa varnostnega stikala odvzamemo električno energijo transformatorju in tako prisilno zaustavimo premikanje simulatorja v primeru težave. Ob primeru kratkega stika ali prevelikega toka pa je med kontaktorjem in 24V transformatorjem tudi varnostno stikalo, ki samodejno izklopi pretok električne energije. Iz RCD-stikala pa sta napeljana še en fazni in ničelni vodnik do drugega varnostnega stikala, s katerega imamo zvezanih osem nadometnih vtičnic, ki jih uporabljamo za priključitev računalnika, monitorjev, zvočnikov, volana in televizorja. V skrajni desni kot pritrdilne plošče smo namestili osem nadometnih vtičnic, ki služijo za napajanje 24VDC transformatorjev, računalnika, računalniških zaslonov, volana in zvočnikov.

Pod RCD-stikala smo pritrdili 24VDC transformator za napajanje digitalnih izhodov kontrolnih plošč Velleman k8055n. V zgornjo stranico omare smo zvrtili luknje za pritrditev šestih gumbov za ročno krmiljenje cilindrov, indikatorske lučke, varnostno stikalo ter stikalo za vklop ali izklop. Gumbe smo zvezali tako, da smo en vodnik z vsakega gumba povezali na kontakt pnevmatskega ventila znamke Festo, kamor so že povezani vodniki do digitalnih izhodov kontrolne plošče Velleman k8055n. Drug vodnik vsakega gumba pa smo povezali na en izvor 24VDC, kar nam omogoča da prožimo ventile brez potrebe po kontrolni plošči.

¹⁵Residual-current device (slov.: zaščitno stikalo na diferenčni tok)

¹⁶Lightemmiting diode (slov.: svetleča dioda)

¹⁷Alternatingcurrent (slov.: izmenični tok)

¹⁸Directcurrent (slov.: enosmerni tok)

Za prisilno ustavitev delovanja simulatorja smo dodali varnostno zaskočno tipko. S pritiskom na to tipko odvzamemo napetost 24VDC transformatorju, ki napaja pnevmatske ventile. Tako onemogočimo kakršno koli nadaljnjo premikanje simulatorja. Kot dodatni varnostni ukrep smo dodali tudi stikalo na ključ z isto funkcijo kot varnostna zaskočna tipka. Tako lahko s ključem onemogočimo nepooblaščenim osebam upravljanje simulatorja (Slika 16). Zaporedno smo jih zvezali na kontaktor, tako da ga ob aktivaciji izklapljata.



Slika 16: Stikala, indikatorske lučke ter gumbi na omarici

Ker je eden od naših ciljev narediti simulator mobilno smo omaro zasnovali tako, da jo lahko premikamo neodvisno od samega simulatorja. Zaradi tega smo morali najti način kako cevi s cilindrov in priključke za potenciometre priključiti in izključiti čim hitreje z malo napora. Za rešitev tega problema smo uporabili hitre spojke (Slika 17). Za priključevanje cevi smo kos aluminijske plošče po sredini upognili za 90° in v eno stranico zavrtali šest lukenj kamor smo pritrdili hitre spojke za cevi. Vsako spojko ter pripadajočo cev smo označili s številko, kar nam bo v prihodnosti pomagalo pri ponovnem priključevanju cevi. Pred hitre spojke smo namestili še dušilke odvodnega zraka, ki jih lahko nastavljamo na enem mestu, čeprav bi bilo bolj idealno, da bi bile nameščene čim bližje priključkom za cevi na cilindrih, ker so tako bolj učinkovite. Tudi dušilke imamo zaradi lažjega upravljanja označene s puščicami tako, da vemo katera dušilka duši zrak s katerega cilindra in v katero smer (Slika 17).

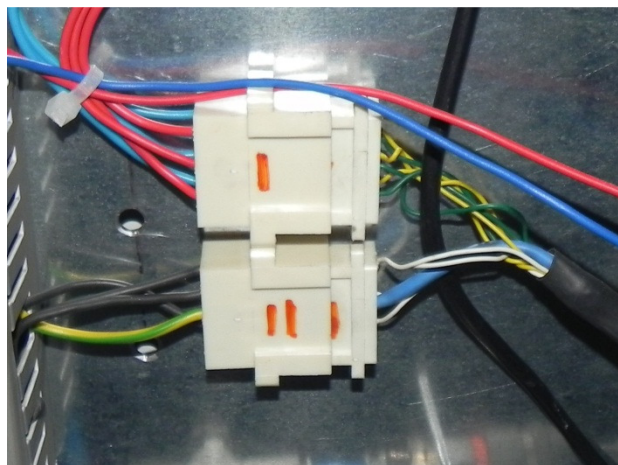
Na vodnike s potenciometrov smo pritrdili FASTON priključke in jih namestili v plastična ohišja za hitro priključevanje in izključevanje vodnikov (Slika 18). Tudi ti dve ohišji smo oštevilčili za lažje in hitrejše priključevanje vodnikov. Ker imamo dve ohišji za vodnike, ki

imata po šest rež za konektorje FASTON, za priključitev naših vodnikov pa potrebujemo 10 konektorjev smo vodnike razdelili tako, da imamo tri +5V vodnike v zgornjih treh režah prvega ohišja, 0V pa v spodnjih treh režah prvega ohišja.

V drugo ohišje smo v zgornje tri reže priključili vodnike, ki služijo pošiljanju signalov, v srednjo spodnjo režo pa smo na en konektor povezali ozemljitvene vodnike.



Slika 17: Hitre spojke ter dušilke zraka



Slika 18: FASTON priključki

Zrak do ventilov dovedemo po cevi v aluminijast blok v katerega smo zavrtali tri luknje v daljšo stranico in eno luknjo v zgornjo stranico, ki preseka pot prejšnjim trem luknjam, tako da smo ustvarili razdelilnik za zrak. V luknje smo še vrezali navoje in privili spojke za cevi. V zgornjo luknjo smo privili spojko, ki se lahko vrti okrog svoje osi, kar nam olajša delo pri urejanju cevi, v luknje na daljši stranici pa smo privili spojke ukrivljene pod kotom 90° iz katerih vodijo cevke dolžine približno 50mm do vsakega ventila.

Zrak pride do ventilov preko regulatorjev tlaka zraka z lovilcem vode. Tak regulator zraka smo uporabili zato, ker zrak iz kompresorja ni vedno suh ali pa pod istim tlakom, ki je za nas uporaben. Regulator zraka z lovilcem vode nam očisti zrak, tako, da v njem ni več vode in omeji tlak za prvi set ventilov na 8 barov. Na izhodu prvega regulatorja smo namestili T člen za cevi in eno cev povezali do prvih treh ventilov, drugo cev pa do drugega regulatorja tlaka z lovilcem vode, ki tlak omeji na 4 bare, ki so potrebni za druge tri ventile. Obema regulatorjema lahko nastavljamo omejitev tlaka od 0 barov do 10 barov. Drugi trije ventili dobijo zrak iz drugega regulatorja tlaka, kar pomeni, da je tlak vedno manjši ali enak tlaku prvega regulatorja s tem pa je namen dveh regulatorjev dosežen.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Če brskamo po spletu, najdemo veliko doma izdelanih simulatorjev, a ga le redkim uspe izdelati do konca, največkrat pa se takšni projekti ustavijo zaradi pomanjkanja denarja ali pa izdelovalci prepozno ugotovijo, da so začeli z napačno opremo. Večina izdelovalcev je navdušenec nad dirkalnimi ali letalskimi simulacijami in imajo splošno znanje o strojništvu, elektroniki in računalništvu. Glede na to, da tudi sami nimamo veliko znanja s področja strojništva in elektrotehnike pa nam je vseeno uspelo izdelati svoj simulator, lahko prvo hipotezo potrdimo. Če se želite delu izogniti, je bolje kupiti začetniški paket, za katerega boste odšteli veliko denarja, a vam šasije ne bo potrebno rezati, variti, barvati, elektronike pa vezati ter programirati. V našem primeru smo ubrali težjo pot in si sami zamislili svojo obliko konstrukcije, postavitve cilindrov in vrsto cilindrov. Ker je naš simulator edinstven, smo morali samo po svojih načrtih posebej izrezati vsak kos jeklene cevi, ga privariti in pobrusiti. Na skicah pa žal nismo videli težav, ki nam jih je povzročalo premikanje simulatorja, predvsem stabilnost simulatorja v prvih različicah našega podstavka, ki ni le doživel evolucije, ampak revolucijo. Podstavek je od vseh delov na simulatorju doživel največ preobrazb. Največkrat smo ga rezali, saj so bili cilindri pod premajhnim kotom glede na vzdolžno os simulatorja. Na koncu smo dosegli kompromis cilindrov, ki so postavljeni pod kotom 85° glede na vzdolžno os simulatorja. Ob začetnem testiranju pa smo zlomili nekaj nosilcev za cilindre, ker cilindri niso imeli opore in se nam je celoten simulator sesedel. Takoj smo ukrepali in ob vsakem cilindru privarili dva oporna stebra na katera se lahko cilindri nasloni, ne da bi se zlomil nosilec.

Nadaljevali smo testiranje premikanja simulatorja in kmalu naleteli na nove težave, ki sta nam jih povzročala sprednja cilindra, ki sta bila preveč oddaljena od središča podstavka in sta bila ob nekaterih položajih neuporabna. Tudi tukaj smo našli elegantno rešitev, in sicer vrtanje novih lukenj za pritrditev cilindrov bližje središču podstavka, kar pa nam je izničilo učinek podpornih stebričkov, ki smo jih morali odrezati in jih ponovno privariti. Tokrat smo jih privarili pod kotom 60° , kar nam ohranja njihovo funkcijo, če bomo kadarkoli predstavljali položaj nosilcev za cilindre (Slika 29). Ker pa ne želimo, da imajo cilindri kontakt z jeklenimi stebrički za podporo, smo na notranjo stran stebričkov namestili plastične pokrove. Na zadnji

problem s konstrukcijo smo naleteli ob testiranju delovanja simulatorja, ko ga je že poganjala računalniška simulacija. Tu smo ugotovili, da se, zaradi velikih sil ter teže šasije in voznika, podstavek rahlo upogiba. Za rešitev tega problema smo porabili največ časa. Na koncu smo ugotovili, da je potrebno našim cilindrom zmanjšati dolžino giba iz 500 mm na 300 mm. To je znatno zmanjšalo upogibanje podstavka, a smo hkrati izgubili tudi nekaj gravitacijske sile, ki bi jo lahko ustvarili z večjimi premiki. A, kljub temu težava ni bila popolnoma odpravljena. Ugotovili smo, da sta sprednja cilindra pod idealnim kotom, saj sta se sprednja cilindra ob nagibih premikala tako, da sta eden drugemu razbremenila sile. Tako smo ugotovili, da, če povečamo razdaljo med posameznim sprednjim cilindrom in šasijo, zmanjšamo sile, ki zvišajo podstavek. Ko smo to idejo realizirali, je bila težava popolnoma odpravljena (Slika 32, Slika 33).

Izdelava šasije je večino časa potekala brez težav, težave pa so nastopile pri izdelavi prečnega nosilca za volan, saj smo morali najti pravo višino in oddaljenost od voznika. Težava pri izdelavi tega nosilca je bila, da ob izdelavi še nismo imeli volana zato smo približno ocenili razdaljo. Trenutno opažamo da je volan za manjše osebe malenkostno predaleč, višje osebe pa z razdaljo večinoma nimajo težav. Te težave bomo v prihodnosti odpravili z izdelavo dodatne poličke za volan, ki bo nastavljiva glede na oddaljenost od voznika.

Ker pa nas sami cilindri in šasija s podstavkom ne morejo premikati smo morali simulator opremiti tudi z elektro omarico (Slika 30), ki vsebuje vso potrebno elektroniko in pnevmatiko. V elektro omarico velikosti 400×300×200 mm (višina×širina×globina) smo zvezali kontrolno ploščo Velleman k8055n, tranzistorsko ploščo, pnevmatske ventile, 24V in 12V napajalnike, električne vtičnice, gumbe za ročno upravljanje simulatorja in varnostna stikala. Z izdelkom smo bili zelo zadovoljni, saj smo zanj porabili precej ur prostega časa. Omarico smo pritrdili na steber na zadnji strani simulatorja, tako da smo vse imeli pri roki.

Ob testiranju smo ugotovili, da program X-Sim Converter zahteva povratno informacijo o položaju vsakega cilindra, zato smo na cilindre namestili magnetna stikala, ki bi nam dajala signal, ko bi batnica prešla polovico cilindra. Takšna stikala za delovanje potrebujejo svoje napajanje in rele, ki smo jih namestili v omarico. Ob nadaljnjem testiranju smo stikala odstranili, saj so bila neuporabna, ker smo imeli le podatek o enem položaju batnice, za pravilno

delovanje pa smo vedni potrebovali imeti natančen podatek o položaju batnice. Celotno omarico pa smo kmalu bili primorani zavreči, saj smo ugotovili, da vsak cilinder potrebuje svoj potenciometer za povratne informacije o položaju cilindra, kar pa je pomenilo nakup še ene kontrolne plošče Velleman k8055n, ki pa je nismo mogli namestiti v premajhno omarico. Naročili smo novo omarico velikosti 1000×1000×300 mm (V×Š×G), ki je bila dovolj velika za vso elektroniko s prejšnje omarice, dodali pa smo še drugo kontrolno ploščo Velleman k8055n, dodatne tri pnevmatske ventile za različne hitrosti premikanja simulatorja, vtičnice smo vgradili v omaro za razliko od prej izpostavljenih vtičnic, v omaro pa smo vgradili tudi vse dušilne elemente za pnevmatske cilindre, ter regulatorje tlaka z lovilci vode. Na omaro smo pritrdili kolesa, da jo je možno premikati ločeno od simulatorja. V omari pa smo name-noma pustili približno četrtno velikosti prostora, saj nameravamo v omaro vgraditi celoten računalnik, to pa nam bo omogočalo, da imamo celoten simulator v dveh delih, ki sta med seboj neodvisna. To je na nek način tudi prednost, saj elemente občutljive na tresljaje (predvsem računalnik) ločimo od samega simulatorja. Kljub več elementom v novi omari smo zanj porabili občutno manj časa kot za prvo omarico, saj smo postopek le ponovili in v primeru kontrolnih plošč in ventilov podvojili.

Profili programa X-Sim Converter, ki smo jih izdelali v prejšnji raziskovalni nalogi so izgledali obetavno na podlagi testnih LED diod na kontrolni plošči, na cilindrih pa je bil prikaz manj zanimiv. Za izdelavo profilov smo se morali zopet obrniti na pomoč X-Sim priročnika¹⁹ in uporabnikov foruma x-sim¹³. Do tega trenutka smo v razvojni fazi naredili že več kot 30 različnih profilov, pri katerih smo poskušali dodajati razne funkcije in jih za tem preizkušali. Ogromno teh profilov je bilo neuporabnih zaradi napačnega delovanja simulatorja. Na začetku smo uspeli izvesti najbolj osnovno premikanje simulatorja. Tako je ob pospeševanju zadnji cilinder šel iz najnižje postavitve v najvišjo, ob zaviranju pa nazaj v najnižjo. Ob zavijanju v leve ovinke je levi cilinder prešel iz najnižje postavitve v najvišjo, ob izteku ovinka se pa ni spustil. V desnih ovinkih se je tako obnašal desni cilinder. To je bil obetaven začetek, a smo se zavedali da nas čaka še ogromno dela. Ugotovili smo, da prihaja do nepravilnega delovanja zaradi tega, ker programska oprema nima podatka o tem, v kakšni legi je kateri cilinder. Delne podatke o legi cilindrov smo poskušali dobiti z magnetnimi stikali reed. Kmalu smo ugo-

¹⁹<http://www.x-sim.de/manual/index.html>, 7. januar 2013

tovili da so ta magnetna stikala za nas neuporabna, saj rabi imeti programska oprema za upravljanje cilindrov neprestano imeti podatke o njihovih položajih. Tako smo ugotovili da so za nas edina primerna rešitev potenciometri.

Uspelo nam je pridobiti stare in nenatančne potenciometre znamke Iskra iz leta 1988 (Slika 31). Naredili smo vzvod, ki je premikal ročaj potenciometra ob premikanju cilindrov. Potenciometre smo še pritrdili na podstavek simulatorja ob cilindre in lahko smo pričeli z testiranjem delovanja. Imeli smo srečo da so bili potenciometri še vedno dovolj natančni za prva testiranja in nastavljanje naprednejših profilov.

Tako smo uspešno naredili profil, ki je pravilno dvigoval ter spuščal zadnji cilinder ob pospeševanju ter zaviranju, ter ob zavijanju pravilno dvigoval ter spuščal levi ter desni cilinder. Kasneje, ko smo pritrdili moderne potenciometre, ki delujejo odlično smo lahko naredili tudi naprednejše profile. Dodali smo tudi učinke pospeševanja ter zaviranja na sprednja cilindra, tako da so sile, ki jih občutimo veliko bolje simulirane. Nastavljali smo tudi gravitacijske sile, ki jih program prejema iz igre, da smo dosegli bolj natančne premike cilindrov. Ob vsem tem se nam je pa vseskozi pojavljal en velik problem - cilindri so bili zelo nemirni. Ob vožnji po ravnini, ko bi morali cilindri skoraj povsem mirovati so se precej premikali. To smo odpravili z neprestanim popraviljanjem profilov, spreminjanjem zračnega tlaka ter spreminjanjem zaporedja signalov, ki jih krmilna plošča pošlje na pnevmatske ventile. Tako smo naredili profil, ki je ob pisanju te raziskovalne naloge najnovejši. V prihodnosti bomo nedvomno profil še popravljali ter ga spreminjali, da bo sile prikazal bolj realistično. Le tako bo mogoče izkoristiti popolni potencial našega simulatorja vožnje.

Kljub temu da naš simulator vožnje pravilno ponazarja sile, ki vplivajo na voznika lahko to hipotezo le delno potrdimo. Na trgu je ogromno komercialnih simulatorjev vožnje. Nekaterim je že takoj vidno da so neprimerljivo boljši od našega, saj je njihov namen ta, da se na njem usposablja dirkači serije formula 1 ter drugih dirkalnih serij. Temu primerljiva je tudi cena, saj lahko sega tudi preko 130 000 €. Veliko komercialnih simulatorjev pride brez računalnika, volana, ekranov, ozvočenja ter sedeža, ali pa ima te dele dodane po želji. Ker lahko vsak kupec izbira te dele po svoji želji jih ne moremo primerjati z našimi. Najboljša izbira za dober simulator vožnje so verjetno trije ekрани z diagonalo vsaj 107cm, računalnik, ki je zmožen

poganjati igre na vseh treh ekranih ter hkrati še program za upravljanje cilindrov, 5.1 ozvočenje ter dirkalni sedež.

Na našem simulatorju ekranu je trenutno en ekran z diagonalo 76cm, računalnik, ki je zmožen poganjati starejše igre ter programsko opremo za upravljanje cilindrov na enem ekranu, volan Logitech G27, ki je med boljšimi volani za računalniške simulacije ter sedež, ki smo ga naredili sami, ki pa je obložen z usnjem ter boljše kakovosti kot pri vseh konkurenčnih simulatorjih, ki smo jih do sedaj videli. Imamo tudi 5.1 ozvočenje, ki pa za enkrat še ni pritrjeno na ogrodje simulatorja zaradi zmanjkanja časa.

Če delovanje našega simulatorja primerjamo z delovanjem nekaterih komercialnih simulatorjev z dvema stopnjama svobode lahko rečemo da jim je zelo konkurenčen v vseh pogledih. Primer takšnega simulatorja je Frex GP simulator²⁰ (Slika 34). Ima eno stopnjo svobode več, ki omogoča dviganje in spuščanje celotnega simulatorja, s čimer lahko simuliramo skoke, luknje v vozišču, robnike ter druge grbine na progi. Prednost našega simulatorja je tudi, da se skupaj z voznikom premika celotna konstrukcija z ekranom, volanom ter stopalkami, kar pripomore k pristnosti vožnje. Tega na večini simulatorjev z dvema stopnjama svobode ni. Največja šibka točka našega simulatorja so pnevmatski cilindri, ki so manj natančni od električnih, ki jih uporabljajo komercialni simulatorji. Slabši so zaradi tega, ker je zrak stisljiv, kar povzroča manjšo natančnost kot jo lahko omogočajo cilindri na električni pogon. Ti cilindri pogon lahko imajo tudi več različnih hitrosti, medtem ko smo mi omejeni na toliko hitrosti kolikor setov pnevmatskih ventilov imamo. V našem primeru sta to dve hitrosti. Več hitrosti lahko sicer dodamo programsko, a je veliko bolj učinkovito če jih dodamo z dodajanjem večih setov pnevmatskih ventilov.

Veliko komercialnih simulatorjev uporablja prav tako kot naš simulator tri stopnje svobode, a nobeden od njih ne uporablja enake tehnike premikanja. Naš uporablja tri cilindre, drugi pa delujejo na enakem principu kot simulatorji z dvema stopnjama svobode, a imajo dodan še en cylinder pri tleh, ki zadnji del simulatorja premika levo ter desno. To doda tretjo stopnjo svo-

²⁰<http://www.frex.com>, 5. februar 2013

bode, ki ponazarja zanašanje avtomobila, a ohrani enake slabosti, ki jih ima simulator z dve-
ma stopnjama svobode. Primer takšnega simulatorja je Simxperience²¹ (Slika 35).

Ta tretja stopnja svobode se precej razlikuje od naše tretje stopnje svobode, ki ponazarja dvi-
govanje ter spuščanje šasije avtomobila, zato se ju ne da primerjati, saj sta obe enako pomem-
bne pri vožnji avtomobila.

Simulatorji, ki uporabljajo naš način postavitve cilindrov ter dodano tudi stopnjo svobode, ki
ponazarja zanašanje avtomobila so pa simulatorji s štirimi stopnjami svobode. Ti simulatorju
lahko z dodano četrto stopnjo svobode bolje ponazorijo občutek vožnje kot naš simulator, kar
je tudi glavna ter edina velika prednost tega simulatorja. Primer takšnega simulatorja je simu-
lator Motion Sim8 (Slika 36). Ta simulator je po konstrukciji ter delovanju zelo podoben
našemu. Njegova prednost so tudi cilindri z večjo dolžino giba, ki znaša 500mm, medtem ko
naša znaša 300 mm. Tako lahko ponazorijo večje sile kot mi. Mi smo to dolžino giba omejili
zaradi robustnosti konstrukcije, sicer bi za utrjevanje le te porabili preveč časa ter materiala.
Ena redkih slabosti tega simulatorja je verjetno cena, ki je za približno 5000 € višja od cene
Simxperience simulatorja z tremi stopnjami svobode, tako da ta simulator verjetno ni najbolj
namenjen domačim uporabnikom.

Simulatorje, katere je z našim skoraj nesmiselno primerjati so simulatorji z šestimi stopnjami
svobode (Slika 37). To so izjemno dragi simulatorji, ki so namenjeni profesionalni uporabi za
usposabljanje pravih dirkačev ter odkar so v formuli 1 močno omejili število treningov tudi za
treninge dirkačev bogatejših ekip v tej seriji ter za izpopolnjevanje dirkalnikov, ko ti niso na
progi. Ti simulatorji so tudi izjemno dragi in neprimerni za domačo uporabo.

Če primerjamo naš simulator še z Lotus F1 simulatorjem⁹ (Slika 38), ki je na voljo za upora-
bo v Ljubljanskem Koloseju lahko rečemo da naš simulator veliko bolj natančno ponazori sile
v dirkalniku. Edina prava dobra lastnost tega simulatorja je ta, da ima pravo šasijo formule 1.
Deluje tako, da ne prikazuje sil, ki vplivajo na voznika ampak so premiki šasije vezani na
premike volana ter stopalk. To povzroča premike, ki napačno ponazorijo sile, ki vplivajo na
voznika. To je vidno že ob pogledu na delovanje, če pa simulator preizkusimo sami je pa raz-

²¹<http://www.simxperience.com>, 5. februar 2013

lika očitna. Prav tako kot naš simulator uporablja pnevmatske cilindre, ki premikajo celotno konstrukcij z ekрани vred.

Ob načrtovanju našega simulatorja smo pazili na to, da imel veliko možnosti za prihodnje izboljšave ter nadgradnje, kar nam je tudi uspelo izvesti. Podstavek je izdelan tako, da bi ga brez večjih težav predelali ter namestili še en cilinder, ki bi dodal četrto stopnjo svobode za prikazovanje zdrsov avtomobila ali celo dodaten cilinder na zadnji del simulatorja, ki bi ustvaril podoben učinek na malce drugačen način. Polica za volan je dovolj široka da lahko na njen zgradimo celotno armaturne plošče, ki bi prikazovala število obratov motorja, prestavo v kateri vozimo, hitrost, nivo bencina ter še druge želene podatke o vožnji. Na njo bi lahko namestili tudi razne gumbe za omejevanje hitrosti vozila v boksih, kontrolo zdrsa, vžig avtomobila in še nekatere druge funkcije. To bi pripomogli k realističnemu izgledu simulatorja iz voznikove perspektive. Tudi šasija je prilagojena za nadgradnjo ekranov. Brez razdiranja šasije lahko privarimo še nosilce za stranska ekrana in tako dobimo večji zorni kot voznika, saj so lahko na treh ekranih prikazana tudi stranska okna (180° vidni kot).

Dodajo se lahko še tudi deli šasije, ki bi zapirali pogled voznika izven simulatorja. To bi pripomoglo k občutku kot da sedimo v pravem dirkalnem avtomobilu ter odpravilo bi voznikovo zavedanje da je nagnjen ob premikanju, saj bi videl le ekrane na katerih vozi in ne okolice. Tako bi bil občutek sil pristnejši ter celotna izkušnja vožnje boljša. Najpomembnejša možnost nadgradnje je pa seveda zamenjava naših pnevmatskih cilindrov za električne, ki bi nudili veliko večjo natančnost ter veliko večjo konkurenčnost drugim komercialnim simulatorjem vožnje.

5 ZAKLJUČEK

Ob nastajanju raziskovalne naloge smo pridobili veliko znanja s področij strojništva in elektronike. Kljub predznanju iz lanske raziskovalne naloge, smo morali poiskati veliko novih informacij o samih simulatorjih vožnje, njihovem delovanju, elektronskem upravljanju pnevmatike, predvsem pa o njihovih šasijah. Odločili smo se za svoj način zgradbe konstrukcije, ki še ni bila preizkušena in nam je zato povzročala mnogo težav z zvijanjem podstavka ter lomljenjem nosilcev za cilindre. Težave smo uspešno odpravili z večkratnim rezanjem in ponovnim varjenjem podstavka, tako da smo našli pravo lego za cilindre.

V prejšnji raziskovalni nalogi smo predelali večino teorije, ki pa se je v praksi izkazala za delno nepravilno, saj je vsak nov simulator edinstven in ima tako svoje prednosti, kot tudi slabosti. Ker pa vsak, ki izdeluje svoj simulator, uporablja svojo strojno opremo (različne kontrolne plošče, cilindre), imamo specifične težave, ki jih nismo mogli rešiti s pomočjo že napisanih člankov, zato smo jih rešili s pomočjo mentorjev ter uporabnikov foruma x-sim¹³. Simulator nameravamo v prihodnje postopoma nadgrajevati, saj je naš cilj zamenjati pnevmatske cilindre z električnimi ter dodati nekatere stvari, ki jih do sedaj nismo uspeli bodisi zaradi finančnih ali pa časovnih težav. Tega dela pa se zdaj, ko smo zaključili s pisanjem naše raziskovalne naloge, že veselimo!

6 POVZETEK

Namen raziskovalne naloge je bil izdelati pnevmatski simulator vožnje, ki je cenejši od drugih komercialnih simulatorjev vožnje, a je kljub temu konkurenčen po kakovosti. Raziskovalna naloga zahteva znanje tako iz računalniškega kot tudi elektro in strojnega področja. Simulator deluje tako, da računalniški programski paket X-Sim bere podatke o silah iz računalniške simulacije dirkanja, jih obdela ter pošlje na naši krmilni plošči, ki jih pretvorita v električne signale. Ti signali upravljajo pnevmatske ventile in s tem posledično položaje pnevmatskih cilindrov. Tako z dvigovanjem ter nagibanjem šasije na simulatorju ponazarjamo sile, ki delujejo na voznika ob vožnji z dirkalnikom. Te sile so seveda v določenih primerih manjše kot v pravem dirkalniku, saj lahko te sile ustvarimo le s hitrim nagibanjem šasije in ne s premikanjem simulatorja po ravnini. Kako velike bodo te sile, je odvisno od zračnega tlaka, ki ga dovajamo našim cilindrom s kompresorjem. Poleg same šasije simulatorja smo morali zanj izdelati še podstavek, izdelali smo tudi svoj dirkalni sedež in omaro za elektroniko, v katero smo vgradili računalnik, elektro in pnevmatske dele in jih tudi pravilno zvezali.

7 ZAHVALA

Najprej bi se radi zahvalili našim mentorjem Urošu Remenihu, Vladu Seitlu ter Jerneju Hudoklinu, ki so nam vseskozi pomagali pri raziskovanju ter izdelavi simulatorja vožnje, profesorici Jolandi Melanšek za lektoriranje angleškega povzetka in gospe Petri Seitl za lektoriranje raziskovalne naloge. Zahvala gre tudi vsem dijakom, ki so kakorkoli pripomogli pri izdelavi našega simulatorja vožnje, uporabnikom foruma X-Sim za pomoč pri izdelavi računalniških profilov za delovanje simulatorja, staršem ter našim sponzorjem Šolskemu centru Velenje, Medpodjetniškemu izobraževalnemu centru, podjetju HTZ d.o.o., podjetju Schrack, avtohiši Honda Čepin, Gorenje d.d. ter Cameleon Production.

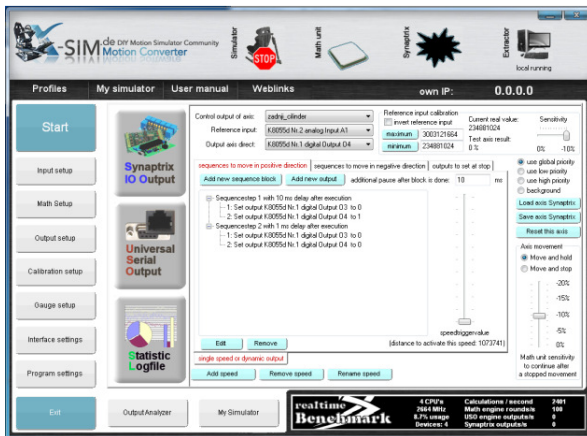
8 PRILOGA



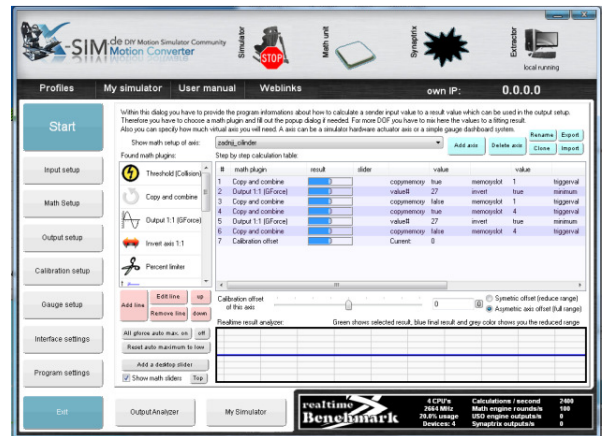
Slika 19: Pritrjen volan ter ekran



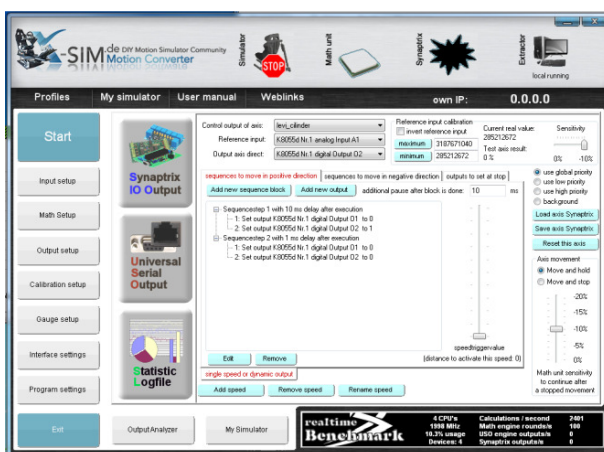
Slika 20: Pritrjen volan ter ekran



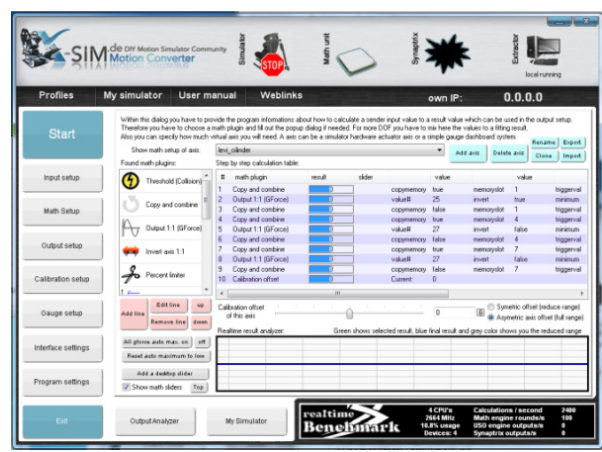
Slika 21: Izhodi za zadnji cilinder



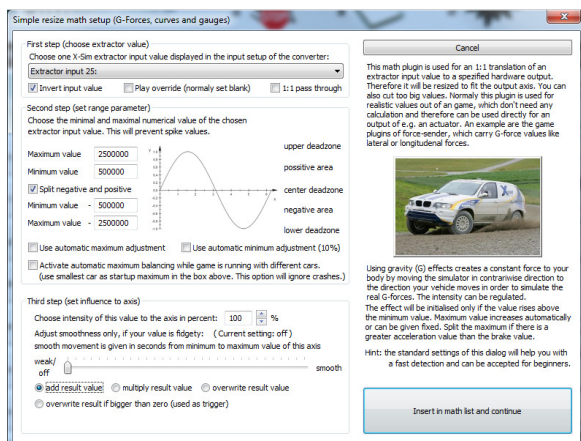
Slika 22: Izračuni sil za zadnji cilinder



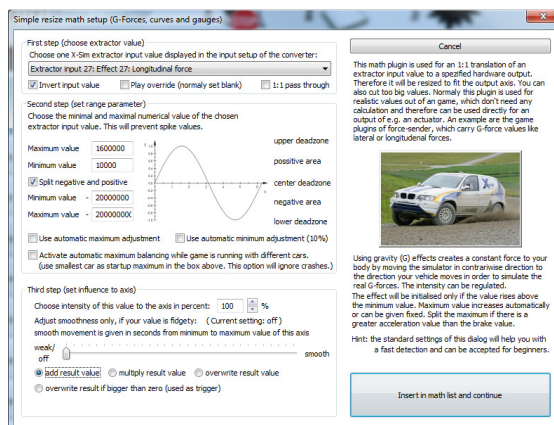
Slika 23: Izhodi za sprednja cilindra



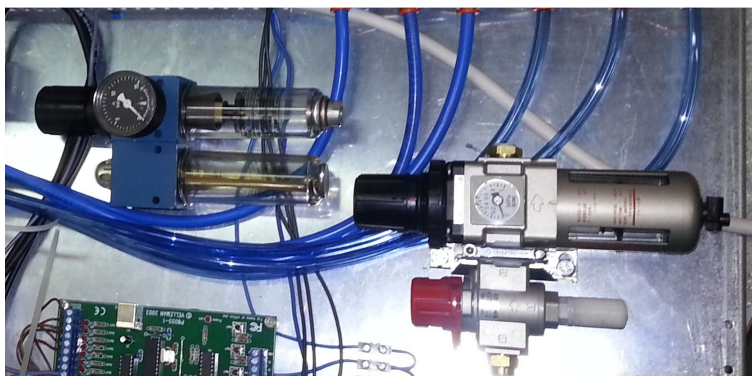
Slika 24: Izračun sil sprednjih cilindrov



Slika 25: Lateralne sile



Slika 26: Longitudinalne sile



Slika 27: Omejevalec tlaka z lovilec vlage



Slika 28: Plošča elektro omare z vsemi elementi razen dušilk



Slika 29: Nameščanje opornih stebrov za cilindre



Slika 30: Majhna elektro omara



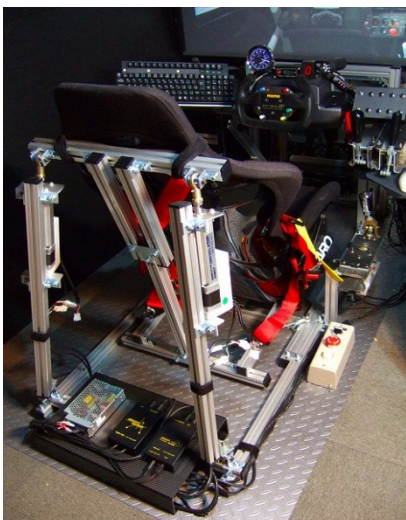
Slika 31: Testni potenciometer



Slika 32: Prestavljen cilinder



Slika 33: Podaljšan nosilec cilindra



Slika 34: Frex GP simulator²²



Slika 35: Simxperience simulator²³



Slika 36: Motionsim simulator²⁴



Slika 37: Cruden Hexatech simulator²⁵

²² <http://www.frex.com/gp/motion/simconmotionpic050818a400.JPG>, 20. februar 2013

²³ <http://i4.ytimg.com/vi/7vuOiSv2Tec/mqdefault.jpg>, 20. februar 2013

²⁴ http://www.techbox.sk/files/photogals/motion_sim_4dof_extreme_3d/motion_sim_4dof_extreme_3d_16.jpg, 20. februar 2013

²⁵ http://www.virtualr.net/drop/images/690929Cruden_F1_tub_09.jpg, 20. februar 2013



Slika 38: Lotus F1 simulator²⁶



Slika 39: SMC ventili, Velleman k8055n in aluminijast razdelilnik zraka



Slika 40: RCD-stikalo, kontaktor in avtomatski varovalki

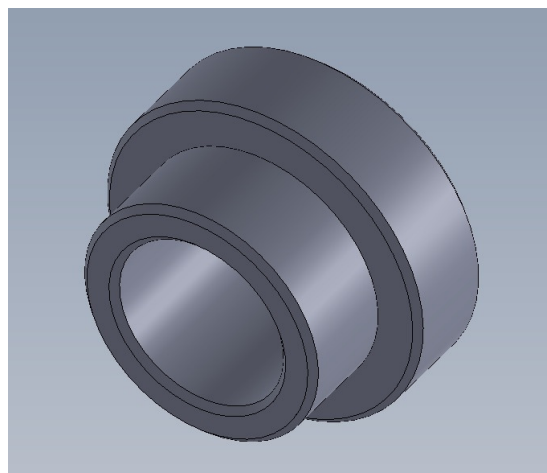


Slika 41: Oporna stebra za cilindra

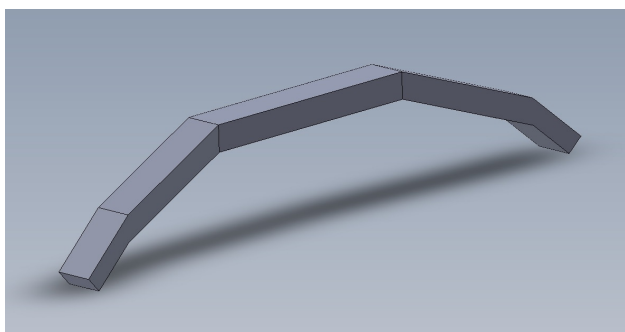
²⁶ http://www.f1simulator.si/images/stories/a-slike/IMG_3357.JPG, 20. februar 2013



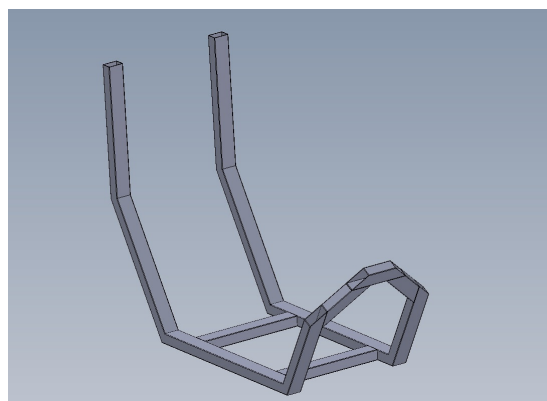
Slika 42: Ventilatorska vrata



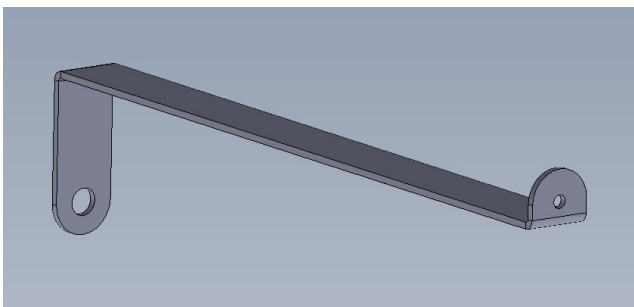
Slika 43: Model batnice za cilindar



Slika 44: Model prečnega nosilca za sprednja cilindra



Slika 45: Model šasije



Slika 46: Model vzvoda za potenciometre



Slika 47: Vožnja s simulatorjem



Slika 49: Vožnja s simulatorjem



Slika 48: Vožnja s simulatorjem