

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ergonomie kokpitu studentské závodní formule

Autor: **Tomáš Černík**
Vedoucí práce: **Ing. Marek Bureš, Ph.D. - RTI**

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš ČERNÍK**

Osobní číslo: **S17B0300P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Průmyslové inženýrství a management**

Název tématu: **Ergonomie kokpitu studentské závodní formule**

Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod do řešené problematiky ergonomie produktu
2. Metody hodnocení ergonomie produktu
3. Popis hlavních komponentů kokpitu závodní formule
4. Tvorba a testování modelu kokpitu
5. Zhodnocení a přínosy nových návrhů
6. Závěr

Rozsah grafických prací: 0 výkresů
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. SLAMKOVÁ, E., DULINA, L., TABAKOVÁ, M. *Ergonómia v priemysle*. Žilina: GEORG, 2010. 261 s., ISBN 978-80-89401-09-3
2. STANTON, N., HEDGE, A., BROOKHUIS, K., SALAS, E., HENDRICK, H. *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. USA: CRC Press, 2005. ISBN 0-415-28700-6
3. TRZESNIOWSKI, M. *Rennwagentechnik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. 1046 s., ISBN 978-3-658-04918-8
4. BUREŠ, M. *ŽIVDIG : Tvorba a optimalizace pracoviště*, e-book. Plzeň: ZČU-KPV, 2013. ISBN 978-80-87539-32-3
5. *Normy ČSN třídy 8335*

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Bureš, Ph.D.
Regionální technologický institut
Konzultant bakalářské práce: Ing. František Sedláček
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: 20. září 2017
Termín odevzdání bakalářské práce: 21. května 2018



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. září 2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval za podporu při vypracování mé bakalářské práce svému vedoucímu práce, panu Ing. Marku Burešovi, Ph.D. za ochotu a čas věnovaný konzultacím po celou dobu, co jsem vytvářel tuto práci. Dále bych chtěl poděkovat všem členům univerzitního týmu UWB Racing Team Plzeň za ochotu a pomoc.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Černík	Jméno Tomáš	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Průmyslové inženýrství a management“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Bureš, Ph.D.	Jméno Marek	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Ergonomie kokpitu studentské závodní formule		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	40	TEXTOVÁ ČÁST	40	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce je zaměřena na ergonomii kokpitu studentské závodní formule. Hlavní témata jsou ergonomické prvky kokpitu vozu jejich návrh a porovnání s předchozím modelem. Výsledkem práce je zlepšení ergonomie pro řidiče což vede k zvýšení výkonu při jízdě.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>FSAE, ergonomie, kokpit</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Černík	Name Tomáš	
FIELD OF STUDY	B2301 „Průmyslové inženýrství a management“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Bureš, Ph.D.	Name Marek	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Industrial Engineering and Management	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	40	TEXT PART	40	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis is focused on the ergonomics of the cockpit of the students race car. The main themes are the ergonomic elements of the vehicle cockpit design and comparison with the previous model. The result of the work is to improve ergonomics for the driver, which leads to increased driving performance.
KEY WORDS	FSAE, ergonomics, cockpit

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	7
ÚVOD	8
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ERGONOMIE PRODUKTU	9
1.1 ERGONOMIE	9
1.2 ERGONOMIE PRACOVNÍHO MÍSTA	9
1.3 HISTORIE ERGONOMIE A JEJÍ SOUČASNÝ STAV	10
1.4 DEFINICE ERGONOMIE A JEJÍ ZÁKLADNÍ OBLASTI	11
1.5 ANTROPOMETRIE	12
1.6 VYUŽITÍ ANTROPOMETRIE	13
2 METODY HODNOCENÍ ERGONOMIE PRODUKTU	15
2.1 VIRTUÁLNÍ MODEL	15
2.1.1 Tecnomatix Jack	15
2.1.2 Siemens NX	16
2.1.3 Dosahové vzdálenosti	16
2.1.4 Výhled z vozu	17
2.1.5 Occupant packaging toolkit (OPT)	17
2.2 FYZICKÝ MODEL	18
2.3 VOLANT	19
3 POPIS KOKPITU FORMULA SAE	20
3.1 PRAVIDLA PRO KOKPIT	20
3.1.1 Vstupní otvor	20
3.1.2 Prostor pro nohy pilota	21
3.2 SEDADLO ŘIDIČE	22
3.3 VÝHLED Z VOZU	23
3.4 OPĚRKA HLAVY	23
3.5 PALUBNÍ DESKA	23
4 NÁVRH A TESTOVÁNÍ FYZICKÉHO MODELU	24
4.1 PEDÁLY	26
4.2 VOLANT	29
4.3 SEDAČKA	31
4.4 PALUBNÍ DESKA	33
4.5 OPĚRKA HLAVY	34
5 POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ	35
5.1 PEDÁLY	35
5.2 VOLANT	36
5.3 SEDAČKA	38
ZÁVĚR	39
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURA	40

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1-1 ERGONOMIE PRACOVIŠTĚ[18].....	10
OBRÁZEK 1-2 INTERDISCIPLINARITA ERGONOMIE[1].....	12
OBRÁZEK 1-3 ANTROPOMETRICKÉ ROZMĚRY ČLOVĚKA[12].....	13
OBRÁZEK 2-1 VIRTUÁLNÍ MODEL [VLASTNÍ ZDROJ]	15
OBRÁZEK 2-2 VYUŽITÍ VR V MOTORSPORTU[13]	17
OBRÁZEK 2-3 VÝHLED Z VOZU STUDENTSKÉ FORMULE[7].....	17
OBRÁZEK 2-4 UKÁZKA FYZICKÉHO MODELU[14]	18
OBRÁZEK 2-5 UKÁZKA MODELU VOLANTU[15].....	19
OBRÁZEK 3-1 KOKPIT VOZU F1[16]	20
OBRÁZEK 3-2 KONTROLNÍ ŠABLONA VSTUPNÍHO OTVORU KOKPITU[VLASTNÍ ZDROJ].....	21
OBRÁZEK 3-3 ŠABLONA PRO PROSTOR NOHOU V KOKPITU[VLASTNÍ ZDROJ]	21
OBRÁZEK 3-4 ILUSTRAČNÍ OBRÁZEK SEDAČKY[16]	22
OBRÁZEK 3-5 VÝHLED Z VOZU[17].....	23
OBRÁZEK 4-1 2D MODEL [VLASTNÍ ZDROJ]	24
OBRÁZEK 4-2 POZICE JEZDCE [2]	25
OBRÁZEK 4-3 ERGONOMICKÝ MODEL PEDÁLŮ [VLASTNÍ ZDROJ]	27
OBRÁZEK 4-4 GRAF ZÁVISLOSTI VÝŠKY ŘIDIČE NA VZDÁLENOSTI SEDAČKY.....	28
OBRÁZEK 4-5 MĚŘENÍ ÚHLU PLYNOVÉHO PEDÁLU [VLASTNÍ ZDROJ]	28
OBRÁZEK 4-6 POLOHA VOLANTU U SILNIČNÍCH VOZIDEL [2]	29
OBRÁZEK 4-7 POSTUP VÝROBY OTISKŮ DLANÍ [VLASTNÍ ZDROJ]	30
OBRÁZEK 4-8 SKENOVÁNÍ MODELU VOLANTŮ [VLASTNÍ ZDROJ].....	30
OBRÁZEK 4-9 ZÁVODNÍ SEDAČKA [2].....	31
OBRÁZEK 4-10 PODPŮRNÉ PARTIE SEDAČKY [VLASTNÍ ZDROJ].....	32
OBRÁZEK 4-11 MODEL PALUBNÍ DESKY UWB2017 [VLASTNÍ ZDROJ].....	33
OBRÁZEK 4-12 MODEL OPĚRKY HLAVY UWB2017 [VLASTNÍ ZDROJ].....	34
OBRÁZEK 5-1 NAVRŽENÉ PEDÁLY UWB2017 [VLASTNÍ ZDROJ]	35
OBRÁZEK 5-2 PEDÁLY UWB2016 [VLASTNÍ ZDROJ].....	36
OBRÁZEK 5-3 MODEL VOLANTU UWB 2016 [VLASTNÍ ZDROJ].....	36
OBRÁZEK 5-4 MODEL VOLANTU 2013 [VLASTNÍ ZDROJ].....	37
OBRÁZEK 5-5 MODEL VOLANTU UWB2017 [VLASTNÍ ZDROJ]	37
OBRÁZEK 5-6 ZMĚNA ÚHLU SEDAČKY [VLASTNÍ ZDROJ].....	38

Úvod

Ergonomie kokpitu jakéhokoliv vozu je rozhodující. Jedná se o rozhraní, kde se člověk a stroj interagují. Pokud není ovládání vozu strategicky umístěné, pro pilota bude ovládání vozu složité a řidič nebude schopen s vozem dosáhnout maximálního možného výkonu. V některých případech by mohlo dojít k ohrožení bezpečnosti samotného jezdce i ostatních závodníků a přihlízejících, pokud nejsou ovládací prvky snadno přístupné, jsou mimo dosah nebo mimo dohled. V kokpitu získává řidič veškeré informace o stavu vozidla a ovládá jízdní vlastnosti a celkové chování samotného vozu při jízdě. Kokpit by měl být navržen jednoduše, tak aby nerozptyloval jezdce při závodu.

Téma této práce jsem si vybral z důvodu členství v týmu UWB Racing Team Pilsen který se účastní mezinárodních závodů kde soutěží se svým monopostovým vozem typu formule. Jedna ze soutěžních disciplín je takzvaný design, ve kterém se hodnotí návrh celé konstrukce vozu, zda daný návrh vyhovuje, jestli je nejlepší a proč byl vybrán. Další významnou částí designu je ergonomie, ve které je brán zřetel na to, jestli se při návrhu hledělo na ergonomii, zda je auto z ergonomického hlediska správně zkonstruováno a jestli tým využil své poznatky k nastavení kokpitu vozu.

Cílem této práce je osvojit si pravidla potřebná ke konstrukci vozu FORMULA SAE, nastudování vyhodnocovacích metod a popsání kokpitu vozu FORMULA SAE. Využití předem zmíněných poznatků při návrhu nového kokpitu s ohledem na nedostatky u kokpitu předešlého vozu.

1 Úvod do problematiky ergonomie produktu

První kapitola semestrálního projektu je zaměřena na obecnou teorii ergonomie produktu. Ergonomie je při navrhování kokpitu vozu klíčová. Zásadně ovlivňuje základní rozměry a polohu samotného monopostu a všech jeho ovládacích prvků, které řidič používá při obsluhování vozidla. Proto určuje polohu a úhel náklonu sedačky, vzdálenost a nastavení brzdového a plynového pedálu, rozložení tlačítek a ovladačů na palubní desce a především design volantu.

1.1 Ergonomie

„Pojem ergonomie byl uměle vytvořen a vznikl spojením dvou řeckých slov – ergon = práce a nomos = zákon, pravidlo. Vedle pojmu ergonomie se také užívá i několik synonymních výrazů, jako např. Human Factors, Biotechnology, Hunam Engineering apod.“[1]

Ergonomie je relativně mladý interdisciplinární obor zabývající se vztahem mezi člověkem, stroji a nástroji, které používá a v neposlední řadě také prostředím, kde člověk tyto stroje nebo nástroje používá. Jedná se tedy o optimalizaci lidské činnosti, která je ovlivněna mnoha faktory. Těmi například jsou: tvar nástroje, hmotnost nástroje, velikost pracovního prostředí, klima pracovního prostředí apod.

Ne všechny činnosti jsou však pracovního charakteru. Pokud člověk sedí, leží, v některých případech i stojí, může stejně tak pracovat jako odpočívat. Proto mnozí považují ergonomii za vědu, která se všeobecně věnuje všem činnostem člověka a ne pouze těm pracovním.[5]

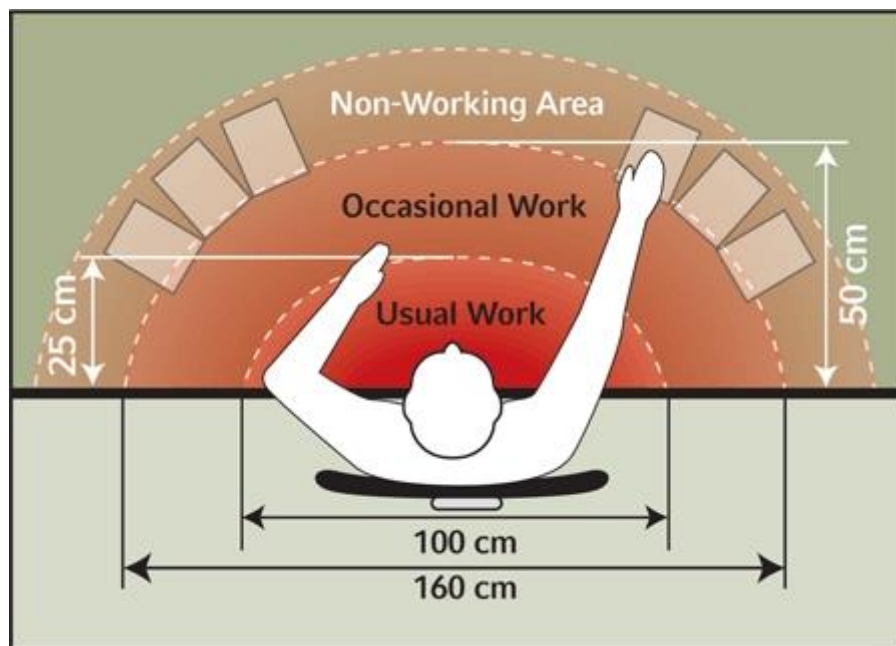
1.2 Ergonomie pracoviště

Vytváření pracovního prostoru, který by po všech stránkách vyhovoval nárokům a potřebám člověka, je náročným procesem, který vyžaduje kromě technických znalostí i znalosti ergonomické. Pracovní prostor přitom můžeme definovat jako vymezenou část prostoru, ve kterém pracovník nebo pracovní skupina vykonává svou činnost.

Čím lepší je pracovní prostor přizpůsobený předpokládané práci člověka, tím vyšší je i kultura a produktivita jeho práce.

Pracovní prostor obvykle vymezují tyto základní parametry:

- Charakter pracovní činnosti (fyzická, duševní, kombinovaná)
- Vybavenost pracoviště (stroje, nářadí, manipulační a dopravní prostředky)
- Pohyblivost pracovního stanoviště (stacionární, nestacionární, kombinovaná pracoviště). Analýza všech tří skupin vyžaduje stejné přístupy, se zřetelem na specifické podmínky při pohybu, na pracovištích kombinovaných a nestacionárních.
- Organizace práce na pracovišti
- Vázanost pracovníka s pracovištěm (vazba prostorová, funkční, kombinovaná)
- Pracovní poloha (sed, stoj, kombinovaná, zvláštní pracovní poloha – vleže, v předklonu apod.). Příkladem jsou definované minimální rozměry prostoru při různých pracovních polohách.



Obrázek 1-1 Ergonomie pracoviště[18]

1.3 Historie ergonomie a její současný stav

Jak již bylo zmíněno, ergonomie jako taková je relativně mladá disciplína. Její kořeny však sahají až do období vzniku samotného člověka. V té době se nikdo nezabýval propojením různých technických a humanitních oborů. Nejdůležitější bylo jak si přizpůsobit obydlí, aby odpovídalo lidskému tělu. Najít či vyrobit nástroje, které nejvíce odpovídaly tvaru lidské ruky apod.[5]

Donedávna se tedy neřešilo, že rozvoj vědy a techniky s sebou nenesou pouze kladné jevy, ale i ty záporné jako jsou: hluk, vibrace, stres, nevhodná pracovní poloha – doba. Mezi 18. a 19. stoletím byla průmyslová revoluce. Ta je známa výrobou strojů bez jakýchkoliv ergonomických ohledů na člověka. Nejprve se vyrobil stroj a až poté se k němu přidělil pracovník, kterému stroj vyhovoval (mechanocentrický přístup). V tomto období bylo charakteristické zajímat se pouze o stroj a vše ostatní se muselo k němu přizpůsobit.[5] V roce 1949 byla založena anglická společnost Ergonomics Research Society a od té doby se ergonomie bere oficiálně jako vědní obor. Postupem času vznikla americká společnost Human Factor Society (v roce 1957). Tyto společnosti spolu s francouzskou Societé d'Ergonomie Francaise byly hlavními iniciátory vzniku Mezinárodní ergonomické společnosti – International Ergonomics Association (IEA). Tato společnost funguje dodnes a sdružuje desítky národních společností, včetně České ergonomické společnosti.[5] V roce 1961 u nás vzniká Výzkumný ústav bezpečnosti práce, který byl později přejmenován na Institut výchovy a bezpečnosti práce. V roce 2003 byla vytvořena Federace evropských ergonomických společností (FEES – Federation of European Ergonomics Societies), jejímž členem se v roce 2005 stala i Česká ergonomická společnost (ČES).[5]

V současné době je přístup k pracovníkům zcela opačný, než tomu bylo v dobách průmyslové revoluce. Došlo se k názoru, že stroje mají sloužit člověku a ne člověk jim. To znamená, že se pracovní stroje a nástroje přizpůsobují lidským schopnostem. Výsledkem takto přizpůsobených pracovišť je zlepšení psychické kondice lidí, pracovní pohoda, snížení či úplné odstranění pracovních úrazů, onemocnění aj. Takový přístup, kde je upřednostňován člověk před strojem se nazývá antropocentrický. Dodržování alespoň základních zásad ergonomie předpokládá také ustanovení EU. V mnoha firmách se dokonce ergonomie dostala nad nutné požadavky. Bylo zjištěno, že v mnoha případech již pracovní proces zlepšit nelze, ale zlepšením pracovních podmínek se efektivita ještě zvýšila.

1.4 Definice Ergonomie a její základní oblasti

Podle Mezinárodní ergonomické asociace (IEA) z roku 2000 zní:

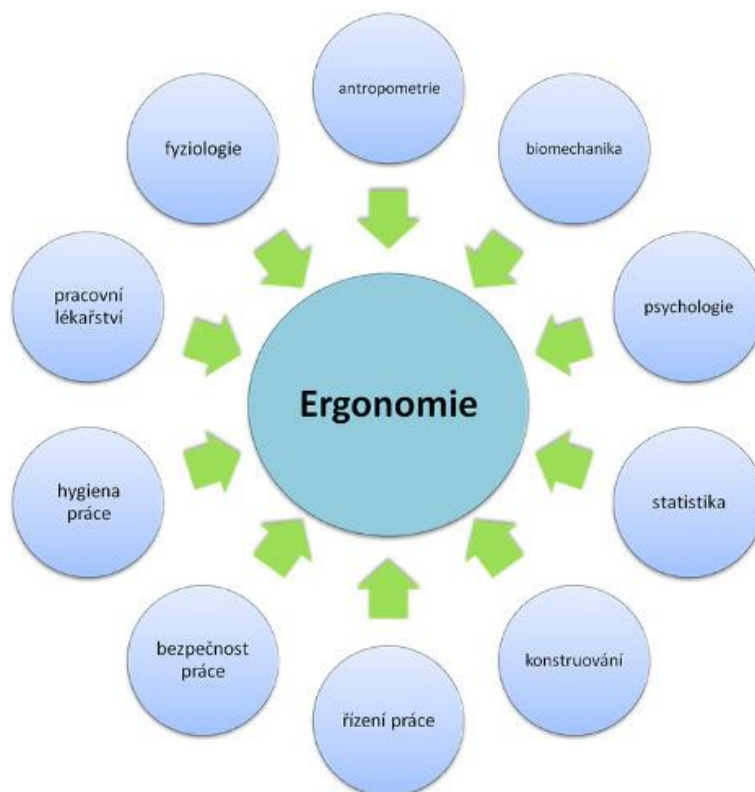
„Ergonomie je vědecká disciplína založená na porozumění interakcí člověka a dalších složek v systému. Aplikací vhodných metod, teorie i dat zlepšuje lidské zdraví, pohodu i výkonnost. Přispívá k řešení designu a hodnocení práce, úkolů, produktů, prostředí a systémů, aby byly kompatibilní s potřebami, schopnostmi a výkonnostním omezením lidí. Ergonomie je tedy systémově orientovaná disciplína, která prakticky pokrývá všechny aspekty lidské činnosti. V rámci holistického (celostního) přístupu zahrnuje faktory fyzické, kognitivní, sociální, organizační, prostředí a další relevantní faktory.“ [8]

Podle Mezinárodního úřadu práce (ILO):

„Polidštění práce, dosažení vyšší úrovně adaptace mezi člověkem a jeho prací z humanitního (zdravotního) i z ekonomického hlediska (produktivita práce). Dle autorů je předmětem ergonomie studium interakcí v převážně pracovních systémech, odhalení jejich vzájemných vazeb a účinků, a vytváření souborů opatření technického, organizačního a personálního typu, jako je uplatnění příslušných poznatků v konstrukci pracovních prostředků, ve vybavení a uspořádání pracovních míst, ve vytvoření zdravého pracovního prostředí, ve vytvoření vhodného režimu a organizace práce a v přípravě ke způsobilosti člověka pro předpokládanou práci apod.“ [8]

Interdisciplinárnost znamená, že ergonomie propojuje hned několik vědních oborů a to jak technických tak humanitních. Jedná se především o design, konstrukci, bezpečnost práce, antropometrii, psychologii, lékařství atd.[13]

Na Obrázek 1-2 je vidět propojenost mezi jednotlivými složkami systému. Na počátku je vstup, který je transformován člověkem a strojem na výstup. Při této transformaci vznikají mezi člověkem a strojem vazby, které jsou také ovlivňovány vazbami na prostředí.



Obrázek 1-2 Interdisciplinarita Ergonomie[1]

Určité obory nebo nauky zabývající se studiem člověka v pracovním procesu jsou:

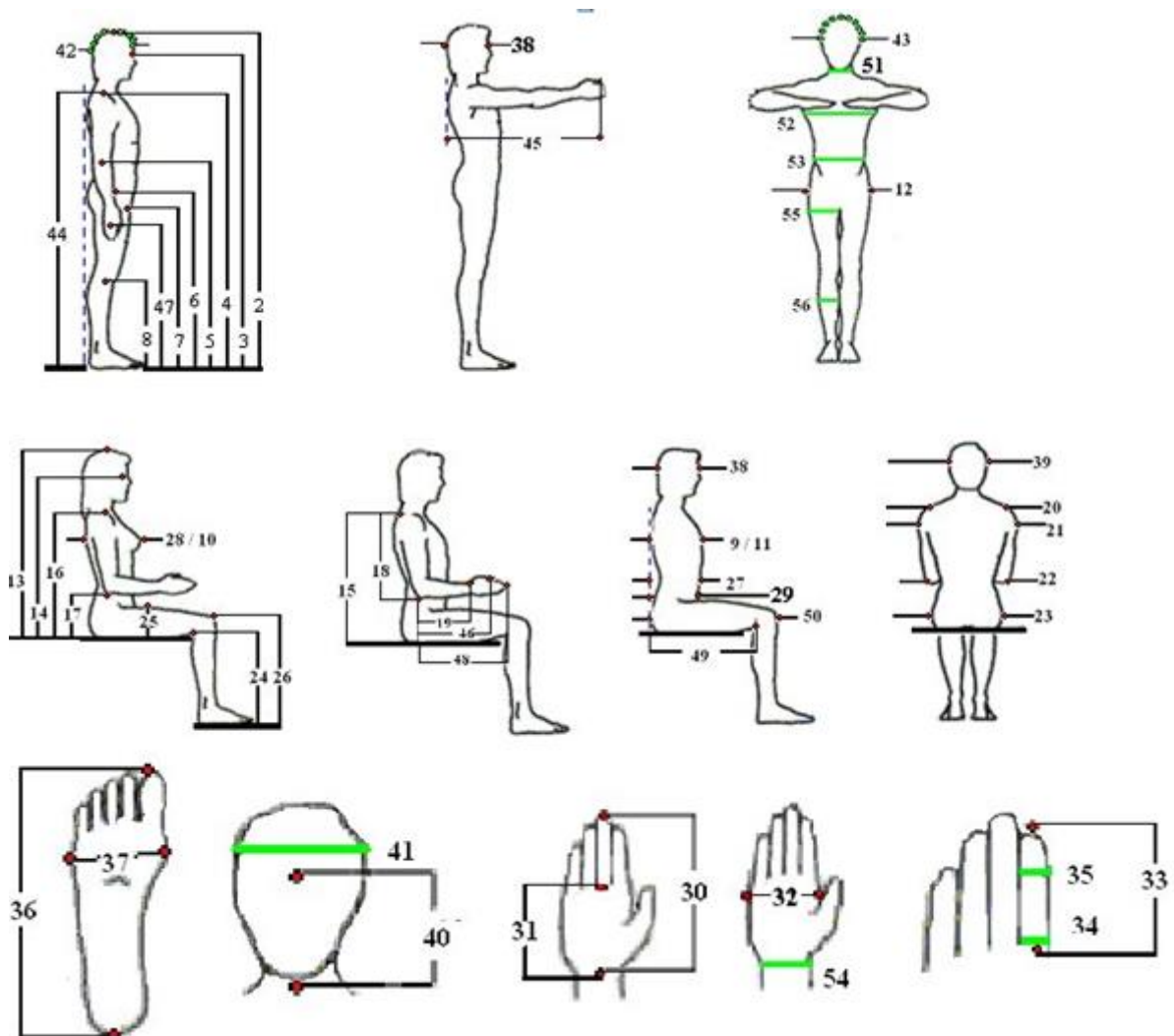
Užitá (statická a dynamická) antropometrie a biomechanika

„Poskytuje údaje o tělesných rozměrech populačních skupin, informace o fyzických parametrech pohybů těla a jeho částí (síly, dráhy, přesnost, rozsahy apod.), které by měly být respektovány při prostorovém uspořádání pracovních míst, výšek manipulačních (pracovních) rovin a dosahů horních i dolních končetin, silových limitů při manipulaci s ovladači atd.“ [1]

1.5 Antropometrie

Antropometrie je obor, který se zabývá měřením, popisem a rozbořem tělesných znaků charakterizujících růst a stavbu těla. Mezi základní znaky tělesného vývoje dětí patří výška, hmotnost, objem hlavy a hrudníku. Výsledky získané prostřednictvím hromadných studií umožňují posoudit tělesný vývoj dětí a v určitém smyslu i jejich zdravotní stav.[4]

Antropometrické rozměry jsou délkové, šířkové a obvodové rozměry lidského těla a jeho částí. Z těchto rozměrů můžeme například určit maximální dosahované zóny úložného nábytku, výšku a šířku sedadla, minimální prostor pro osobu při stolování aj. Průměrné rozměry jsou zaneseny v normách [12]



Obrázek 1-3 Antropometrické rozměry člověka[12]

1.6 Využití antropometrie

V hromadné výrobě zůstává uživatel anonymní. Ví se o něm jen to, že patří do jisté podskupiny jedinců. Snaha výrobce optimalizovat a racionálně antropometricky standardizovat výrobky musí proto vycházet ze znalostí statistických vlastností tělesných rozměrů v populaci předpokládaných uživatelů.

Individuální výrobu je možné provádět pro neomezené množství typů lidských postav, hromadná výroba však musí produkovat velké série rozměrově stejných výrobků. Čím rozsáhlejší série, tím ekonomičtější výroba. Z toho vyplývá nutnost omezit se při výrobě na určitou množinu typů postav a vyrábět výhradně pro ni. Tyto typy však musejí být vybrány tak, aby každý z nich dostatečně výstižně reprezentoval určitou část reálně existujících lidských postav.[12]

Antropometrické měření pomáhá designerům stanovit požadavky na rozvržení pracoviště včetně nábytku, založených na běžných rozměrech lidského těla. Před využitím ergonomie a antropometrie bylo mnoho pracovišť a strojů určeno pro „průměrného zaměstnance“. Bohužel průměrné statistické měření představuje méně než 1 procento normálního rozdělení. Například je-li pracoviště určeno pro průměrné americké muže (173 centimetrů), je toto pracoviště

nevhodné pro 99% americké populace. Vývoj automobilového interiéru vykazuje přidanou hodnotu využitím ergonomie a antropologie. Před lety, mohla být sedadla nastavena pouze dopředu nebo dozadu, dle potřeby řidiče, aby se přizpůsobila délce nohou, tak aby řidič pohodlně dosáhl na pedály. Výška pedálu a úpravy volantu nebyly běžně k dispozici. Vozy byly navrženy pro „průměr“.[12]

V současné době v ČR neexistuje zpracovaný jednotný podklad pro aplikaci antropometrických rozměrů v navrhování. Je využíváno několika kvalitních materiálů, z nichž nejvhodnější norma je DIN 33402. Tato norma obsahuje 5 základních skupin rozměrů:

- Rozměry stojícího člověka
- Rozměry sedícího člověka
- Rozměry dlaně a prstů
- Rozměry nohy
- Rozměry hlavy

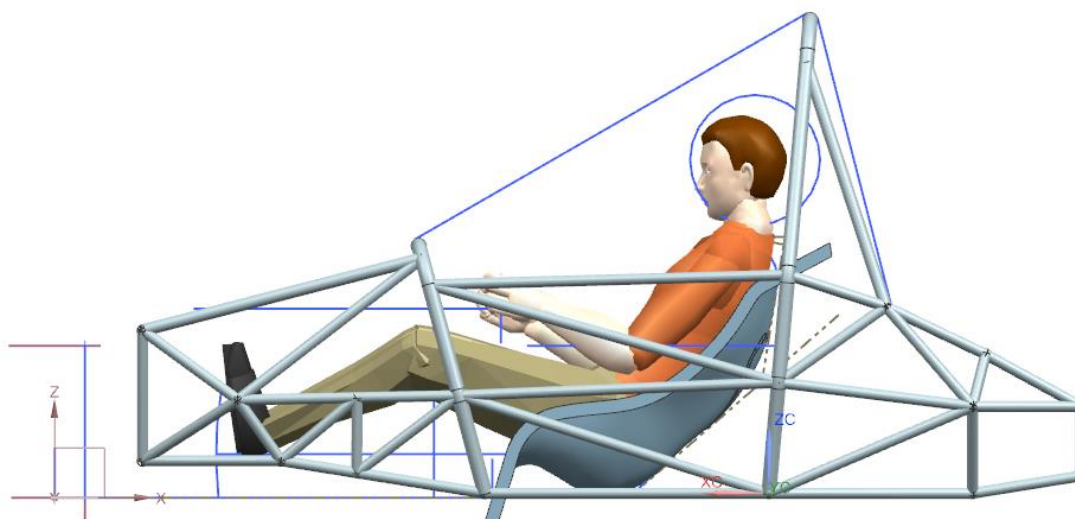
Rozměry populace jsou reprezentovány tzv. normálním (Gaussovo) rozdělením, ze kterého vychází další statistický termín - percentil. 5. percentil znamená, že 5% populace má menší rozměr než je jeho hodnota. Stejně tak 95. percentil představuje hodnotu, pod níž je 95% populace (pouze 5% má větší rozměr). Navrhované strojní zařízení nebo pracoviště musí být přizpůsobeno přinejmenším 5. až 95. percentilu předpokládané pracovní populace. Pro případy práce mužů i žen se používají významné percentily sloučené pracovní populace.[2]

2 Metody hodnocení ergonomie produktu

Druhá kapitola semestrálního projektu se zabývá samotným hodnocením ergonomie produktu. Jelikož je poloha řidiče v monopostovém vozu FORMULA SAE nestandardní nelze k hodnocení využít klasických metod, kterými jsou například RULA, REBA atd. Z toho důvodu je nutné využití nestandardních metod. Jedno z pravidel pro vůz je, že musí být vhodné pro 95 percentil mužské populace a 5 percentil ženské populace, z toho bude vycházet prvotní návrh.

2.1 Virtuální model

K této práci budou využity dva softwarové nástroje. K sestavení 3D modelu, zabránění kolizí a zajištění, že budou všechny použité díly pasovat a k analýze komfortu polohy řidiče v sedačce byl využit software Siemens NX. Druhým systémem je software Tecnomatix Jack také od společnosti Siemens. Tento program byl aplikován k simulaci výhledu z vozu, k analýze komfortu polohy řidiče a k otestování dosahových vzdáleností.



Obrázek 2-1 Virtuální model [vlastní zdroj]

2.1.1 Tecnomatix Jack

Software zaměřený na ergonomii a lidský faktor. Software vznikl za podpory NASA na Department of Computer and Information Science na University of Pennsylvania během 80 let. Tento software umožňuje uživateli umístit do virtuálního prostředí přesný biomechanický model člověka, přidat mu úkoly a sledovat jeho výkonnost. Jack neboli Jill, jak je nazýván model ženského pohlaví, odpovídají na klasické otázky, co vidí, kam dosáhnou, jestli se cítí pohodlně nebo zda nejsou přetěžováni.

Jack neslouží pouze pro modelování člověka. Je využíván také jako real-time simulační nástroj. Do Jacka je možné importovat další CAD grafiku a vytvářet tak virtuální prostředí pracoviště nebo celé výroby. Je tu však také možnost vytvářet tyto geometrické objekty od začátku pomocí jednoduchého modeláře. Pomocí jednoduchých primitivů (kostky, koule, válce, jehlany, atd.) můžeme sestavovat daleko komplexnější objekty, kterými mohou být nástroje, dopravní prostředky a jiné objekty vyskytující se na pracovišti. [10]

Simulace

Velmi výhodnou a v poslední době stále více užívanou metodou je počítačová simulace pracoviště a pracovního procesu v digitálním prostředí. V Jacku můžeme reálně simulovat a následně optimalizovat pohyby pracovníka ve 3D prostředí. Ve spojení s přecházejícími analýzami máme možnost detailně a přesně navrhovat lidské činnosti. Různé druhy úchopů a chůze umožňují uživateli rychle a jednoduše tvořit lidské pohyby. Velice šikovným nástrojem je detekování kolizí mezi člověkem a prostředím což zabezpečuje proveditelnost jednotlivých úkonů. Samozřejmostí je zachycení simulované události do video souborů typu .mpg nebo .avi.[10]

2.1.2 Siemens NX

Siemens NX (dříve **Unigraphics**) je komerční CAD/CAM/CAE program pro podporu činností v konstrukci a výrobě. Umožňuje provést ideový návrh, výpočty, simulace a analýzy, modelování jednotlivých dílů i celých sestav, tvorbu výkresové dokumentace, programování NC obráběcích a měřicích strojů, simulaci obrábění, kontrolu kvality, správu dat a projektů a integraci do podnikového informačního systému.

Siemens NX je moderní modulární systém s plnou asociativitou všech spolupracujících modulů, postavený nad jednotnou grafickou objektově orientovanou databází. To umožňuje souběžnou práci týmu řešitelů (Collaborative Engineering). V praxi to znamená, že již v určité fázi rozpracovanosti modelu lze současně provádět pevnostní a kinematické výpočty, případně i další analýzy a simulace. Souběžně s projektanty mohou konstruktéři zpracovávat výkresovou dokumentaci, technologové mohou připravovat NC programy. Tzv. Master Model Koncept zajišťuje jednoznačné provedení změn ve všech těchto navazujících činnostech. Znamená to, že model je určujícím prvkem, na němž jsou prováděny všechny modifikace, které se přenášejí do všech rozpracovaných aplikací.

2.1.3 Dosahové vzdálenosti

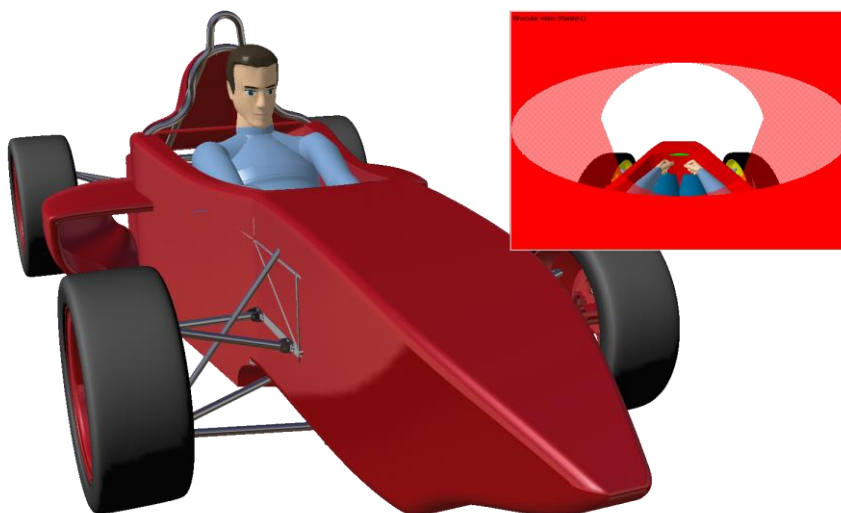
Virtuální realita může být využita i k celkovému vyzkoušení kokpitu. Tato metoda se hojně využívá při testování vnitřků automobilů při návrzích nových modelů vozů. Začíná se rozšiřovat i do motorsportového odvětví, kde jezdci využívají kompletního fyzického modelu kokpitu vozu a virtuálních brýlí ve kterých se zobrazuje například některý z okruhů. Druhá varianta je, že je fyzický model velmi zjednodušen a opatřen takzvanými „márkry“ které se dají ve virtuální realitě vizuálně upravovat.



Obrázek 2-2 Využití VR v motorsportu[13]

2.1.4 Výhled z vozu

K otestování zorného úhlu a celkové viditelnosti z kokpitu bude využita virtuální realita softwaru Tecnomatix Jack. 3D model byl vytvořen v systému Siemens NX 11 a exportován do formátu podporující software Jack. Uvedený obrázek je pouze ilustrační z jiného softwaru.



Obrázek 2-3 Výhled z vozu studentské formule[7]

2.1.5 Occupant packaging toolkit (OPT)

Tento balíček dodatkových analýz je používán zejména při návrhu vnitřních prostorů aut, nákladních automobilů, letadel apod. Designéři jsou s pomocí tohoto nástroje schopni hodnotit komfort a výkonnost pasažérů různých dopravních prostředků. Hlavním přínosem při využívání tohoto nástroje je značná finanční úspora, neboť již není nutné využívat fyzických figurín. OPT se skládá z dalších šesti konkrétních analýz.[10]

- SAE packaging guidelines – 28 doporučených SAE směrnic, které obsahují informace o rozmístění důležitých ovládacích prvků v autě.
- Posture prediction – slouží převážně k simulaci polohy sedících pasažérů v autě.
- Comfort assesment – pomáhá určit, zda jsme umístili model člověka do komfortní sedící polohy.
- Advanced Reach Analysis, Advanced Anthropometry – analýzy jsou nadstavbou klasických analýz ze základní nabídky programu, které jsou nepatrně upraveny pro návrhy automobilů.
- Vision analysis - analýza zorného pole řidiče, například přímý pohled z auta, boční výhledy a také výhled přes zpětná zrcátka.

2.2 Fyzický model

K získání vzdáleností, poloh a úhlů všech prvků tak, aby každému řidiči vyhovovalo nastavení a měl dostačující pohodlí a výhled se používá fyzický model kokpitu vozu. Každý řidič si nezávisle na ostatních nastaví polohu pedálů, polohu volantu, úhel sedačky a dané údaje se zaznamenají. Podle pravidel musí být zajištěn systém na posuv buď sedačky, nebo pedálů. V našem případě jsme zvolili jednodušší z možností a rozhodli se pro systém posuvu pedálů v ose vozu. Z naměřených hodnot od šesti řidičů se udělá kompromis pro dvě varianty polohy pedálů. Bude se měnit pouze vzdálenost od sedačky, úhel pedálů se při měření pohyboval v rozdílu do $\pm 3^\circ$.



Obrázek 2-4 Ukázka fyzického modelu[14]

2.3 Volant

Nejdůležitější pravidlo pro návrh volantu je omezení, že žádná část volantu nesmí v jakékoliv poloze přesahovat přední oblouk. Z tohoto pravidla a požadavků řidičů, aby byl volant co největší (k využití co největší páky k zatáčení volantu), vycházejí základní rozměry a umístění ovládacích prvků.



Obrázek 2-5 Ukázka modelu volantu[15]

Jako další metoda bude využito vytvoření otisků rukou řidičů v jezdeckých rukavicích, aby byly otlačky co nejpřesnější. Tyto modely budou naskenovány na 3D scanneru a následně domodelovány v CAD systému.

3 Popis kokpitu FORMULA SAE

Kokpit vozu je strojovnou celého vozu. Dochází zde k ovládání všech částí a systémů. Řidič se musí cítit pohodlně, aby byl uvolněný a mohl podávat co nejlepší výkony.



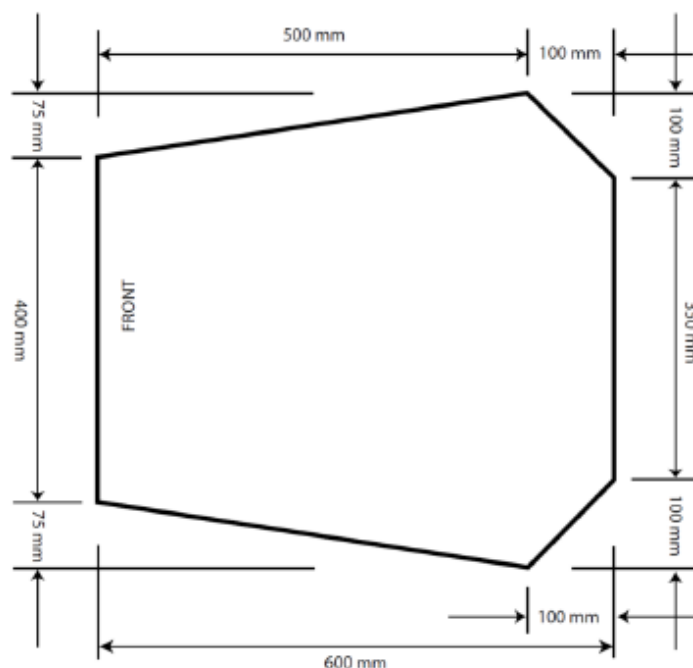
Obrázek 3-1 Kokpit vozu F1[16]

3.1 Pravidla pro kokpit

Pravidla jsou nedílnou součástí všech soutěží, také tomu tak je i u FSAE, kde pravidla představují bibli, podle které se řídí jak soutěžící studenti, tak také porotci. Organizace SAE International vydává přibližně každé dva roky nová pravidla, která se v obecných částech velmi podobají pravidlům od organizace FI, jež vydává pravidla pro nejvyšší soutěže, jako je např. WRC.

3.1.1 Vstupní otvor

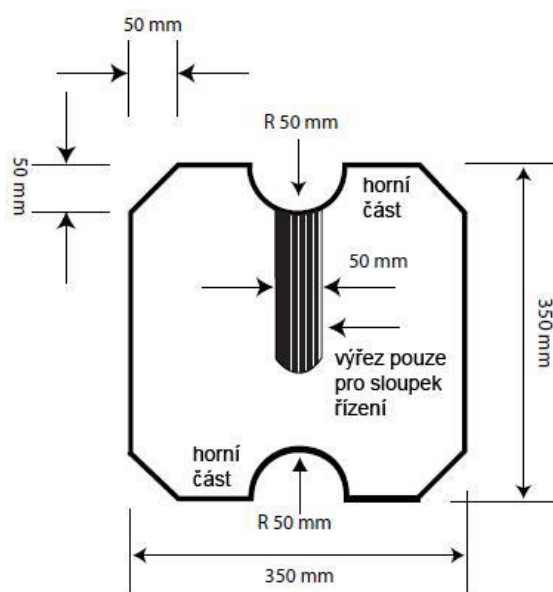
Pravidla pro kokpit stanovují, jak velký má být vstupní otvor pro jezdce. Dodržení požadovaných rozměrů se kontroluje při technické kontrole pomocí šablony, jejíž rozměry jsou patrné z **obrázku 3-2**. Tato šablona musí jít vložit do kokpitu až do úrovně horní části boční nárazové struktury.



Obrázek 3-2 Kontrolní šablona vstupního otvoru kokpitu[vlastní zdroj]

3.1.2 Prostor pro nohy pilota

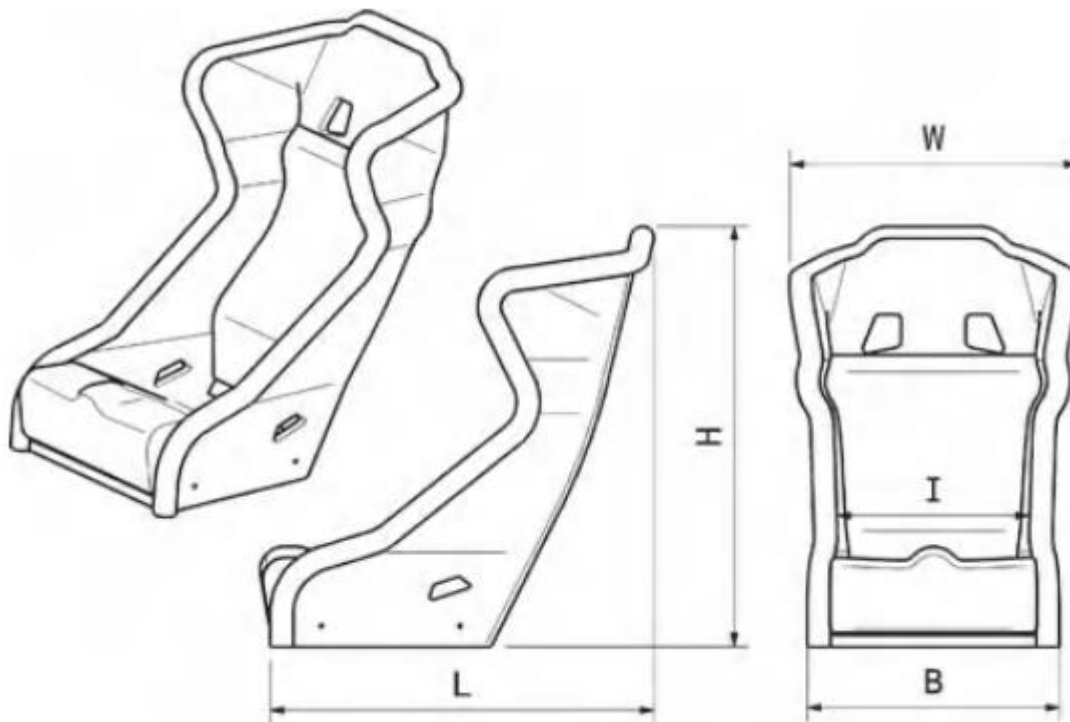
V kokpitu musí být zachován minimální prostor pro nohy řidiče. Tyto rozměry se také kontrolují při technické přejímce vozu pomocí šablony se stanovenými rozměry, které jsou vidět na **Obrázek 3-3**. Kontrolu provádějí rozhodčí vložením šablony do kokpitu vozu, kde se nacházejí nohy pilota, a to do vzdálenosti 100 mm od nejdále umístěného pedálu v nesešlápnuté poloze. Šablonu v tomto prostoru nesmí nic omezit, pouze zde smí zasahovat věnec volantu, sloupek řízení (pro ten má šablona zhotoven útlý výřez) a měkké výplně pro ochranu nohou pilota.



Obrázek 3-3 Šablona pro prostor nohou v kokpitu[vlastní zdroj]

3.2 Sedadlo řidiče

Skořepina sedačky je vyráběná laminováním z karbonových tkanin kladených na vyfrézovanou formu. Forma bude vyrobena tak, že se z polystyrenu vytvoří přibližná poloha jezdce, do které se umístí velký pytel napuštěný montážní pěnou, do které si řidič sedne. Po vytvrnutí pěny a dodatečném dotvarování vznikne skořepina, ze které se za použití 3D skeneru vytvoří model. Sedadlo řidiče musí být umístěno tak, aby nejnižší bod sedadla nebyl níže než nejspodnější část rámu, nebo musí být pod sedadlem umístěna podélná trubka o stejných materiálových a rozměrových vlastnostech jako boční ochranná struktura.



Obrázek 3-4 Ilustrační obrázek sedačky[16]

3.3 Výhled z vozu

Připoutaný řidič v řídicí poloze musí mít zajištěn dostatečný výhled z vozu, a to minimálně v rozsahu 200° (100° na každou stranu). K dosažení této hodnoty může řidič otáčet hlavou nebo použít zrcátko.



Obrázek 3-5 Výhled z vozu[17]

3.4 Opěrka hlavy

Na voze musí být umístěna opěrka hlavy, která má za úkol zamezit pohybu řidičovy hlavy směrem vzad. Opěrka musí být umístěna vertikálně, nebo téměř vertikálně. Vyrobená z materiálu pohlcujícího energii jako je např. Ethafoam® nebo Ensolite®a mít minimální tloušťku 38 mm. Umístěna tak, že vzdálenost mezi opěrkou a helmou řidiče při normální řídicí poloze není větší než 25 mm. Kontaktní bod mezi helmou a hlavovou opěrkou nesmí být v jakémkoli směru k hraně blíže než 50 mm. Uchycení opěrky musí být schopno přenést ve směru vzad zatížení o velikosti 890 N.

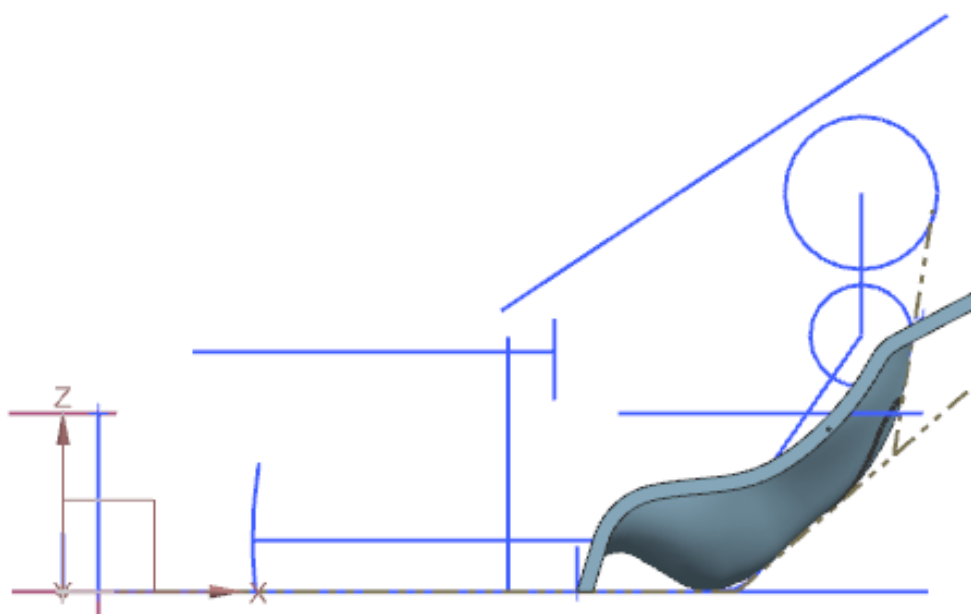
3.5 Palubní deska

Na palubní desce je umístěn displej, na němž se řidičovy zobrazují nejdůležitější údaje potřebné k řízení vozu. Řidič rozhoduje o tom, zda pokračovat v závodě nebo závod přerušit, aby nedošlo k poškození pohonné jednotky nebo dokonce ke vznícení vozu. Na displeji se zobrazují informace jako: teplota vody a oleje, rychlost vozu a otáčky motoru, tlak paliva a oleje, trať a také kolik zbývá kol do konce. Jelikož je to nejdůležitější informační systém, je důležité, aby byl co nejvíce čitelný, srozumitelný a jednoduchý. Pokud displej podporuje přepínání obrazovek tak je samozřejmě vítána jednoduchost a rychlost ovládání, protože řidič nemá při závodě času nazbyt

Displej může být umístěn i na volantu, ale to znamená větší zástavbovou velikost volantu a značné zvýšení počtu kabelů přivedených do volantu. Tyto parametry a skutečnost, že použijeme již zakoupený displej, byly rozhodující při výběru umístění displeje.

4 Návrh a testování fyzického modelu

Pomocí odměřených parametrů pro posed řidiče, je vytvořen 2D model, kolem kterého se staví rám vozu a umisťují komponenty. Tento 2D model obsahuje křivku sedačky, polohu pedálů, volantu a předního i hlavního oblouku.



Obrázek 4-1 2D model [vlastní zdroj]

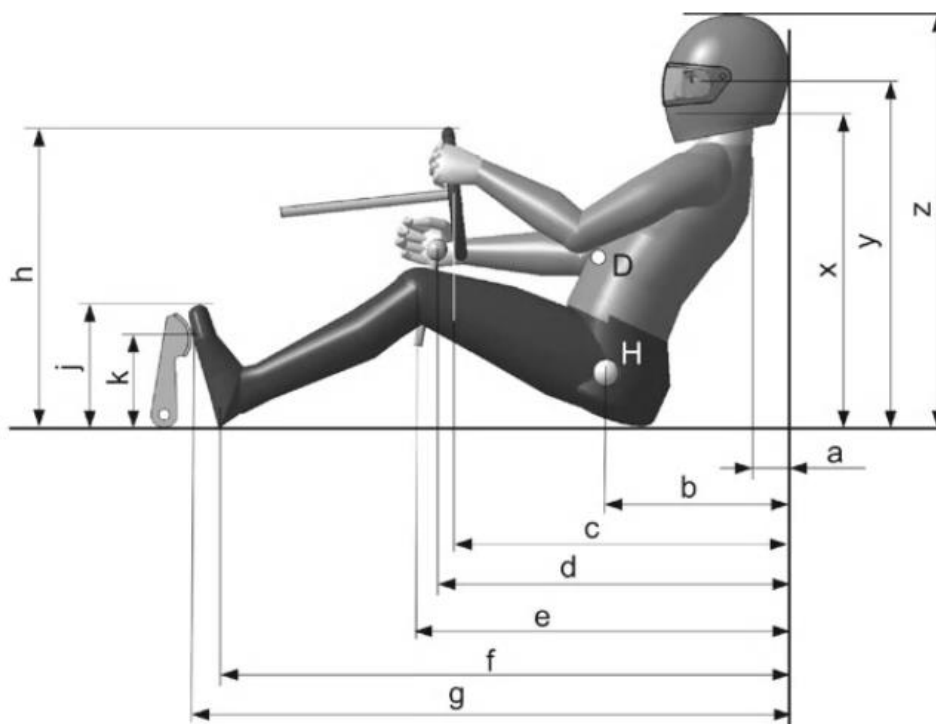
Správné sezení v autě je takové sezení, při kterém se nám mechanika sedadla neustále přizpůsobuje a podepírá určité partie zad. Důležitý je především permanentní kontakt se stálým tlakem v oblasti bederní páteře. Při držení volantu jsou ruce a paže výše, než při práci za stolem. Tělo absorbuje vertikální vibrace způsobené pohybem vozidla na nerovném povrchu nebo hrbolaté silnici. Při zatáčení vozidla se do stran pohybuje také tělo. V závislosti na tom, jakou rychlostí se rozjíždí nebo zpomaluje, řidič pociťuje určité přetížení. Špatné držení těla při sedu pak může způsobovat nejen bolesti zad, páteře, kolen, ale i problémy s koncentrací způsobené bolestí v zátylku. Prevence těchto bolestí je nejen správné nastavení výšky a sklonu sedadla, ale i časté střídání poloh.

Příčiny špatného držení těla:

- osobní návyk
- nesprávně seřízené / zkonstruované sedadlo
- nízkofrekvenční vibrace přenášené z podvozku do těla (nežádoucí účinky na spodní část zad)
- tvar sedadla (tlak na části nohou, zad a hýždí)
- body dotyku (mohou mít vliv na průtok krve do nohou a chodidel)

Interiér vozidla musí být seřiditelný tak, aby řidič mohl:

- dosáhnout na pedály a ovladače
- měl dostatek prostoru
- seděl dostatečně vysoko, aby viděl ven na přední a boční okna a zrcátka
- aby dosáhl na volant bez natahování paží
- řidič by měl mít dostatek prostoru (25 - 30 cm) mezi volantem a hrudníkem (prsni kostí), aby mu bezpečnostní pás mohl poskytnout maximální bezpečnost a ochranu v případě nehody
- sloupek volantu by neměl bránit pohybu nohou nebo dotyku kolen při nastupování a vystupování z vozidla nebo při řízení a ovládání pedálů.



Obrázek 4-2 Pozice jezdce [2]

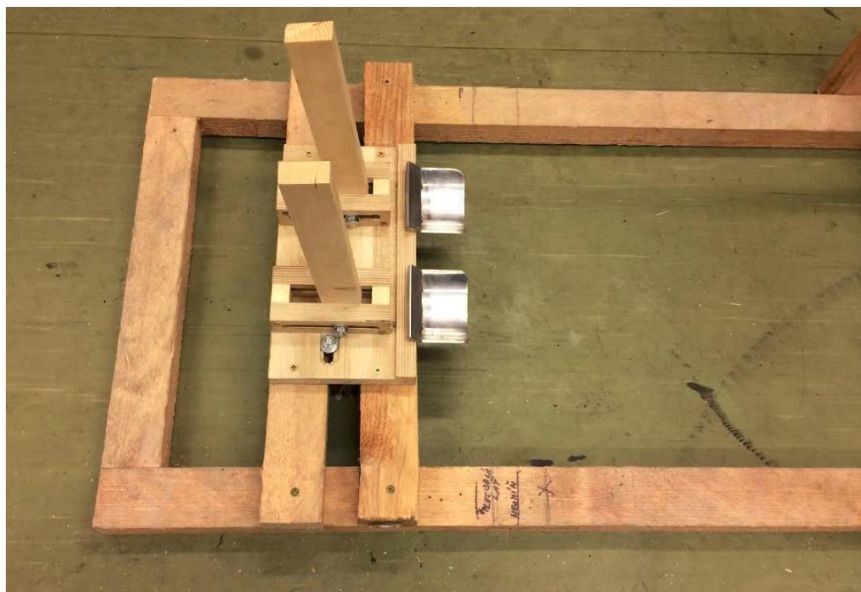
4.1 Pedály

Obecné požadavky na pedály vyplývají z ergonomie posedu měření ergonomie pedálů a požadavků všech řidičů. Dále by pedály neměly obsahovat žádné ostré hrany. Nohy by měly být zajištěny tak, aby z nášlapů pedálů nesklouzávaly. Také by měly být zajištěny tak aby řidič nemusel pedál hledat – k tomu slouží tzv. podpatěnky, které trvale fixují patu řidiče tak, aby mu neujížděla do stran, jelikož v zatáčkách působí velké přetížení (až cca 3G). Dalším požadavkem je nízká hmotnost, snadná vyrobiteľnosť a snadná nastavitelnost. Pedály by měly splňovat také nároky na vysokou spolehlivost při extrémních závodních podmínkách. (již se několika týmům stalo, že se zasekl plynový nebo brzdový pedál a pak došlo k neštěstí).

Pedály během jízdy slouží jako člen mezi řidičem a pohonem s brzdíči. Pro tento účel musí být tedy pedály spolehlivé a umožňovat správné nastavení ergonomie pro více řidičů.

Poloha pedálů závisí na výšce každého jednotlivého řidiče a způsobu jakým mu vyhovuje řídit. Tvary a proporce pedálů vychází z ergonomie a zástavbového prostoru. Jelikož v soutěži Formula Student musejí být minimálně čtyři řidiči, tak se volí základní posed s možností posunutí pedálů – tedy sedačka má posed pevný a pedály musí být navrženy tak, aby se daly v krátkém čase přestavět. Jelikož se jedná o závodní vozidlo, je zde také kladen důraz na co nejnížší hmotnost. Toto snížení váhy pomáhá snižovat torzní momenty, působící na celou sestavu, které vznikají při jízdách manévrech.

Pedal box, neboli pedály slouží k ovládní výkonu motoru a k brždění. Podle pravidel je zakázáno použití jakýchkoliv posilovačů na brzdy, proto je nutné vyvinout na brzdový pedál značnou sílu. Dle naměřených a vypočítaných hodnot je zapotřebí k úplnému zablokování kol zatížit pedál silou úměrnou 75 kilogramům. Proto je velmi důležité, aby měl řidič ideální polohu nohou a také správný úhel. Za tímto účelem jsme navrhli a zkonstruovali model pedálů, na kterém jsme provedli měření s pěti řidiči. Řidiče jsem rozdělil do dvou velikostních skupin a z naměřených hodnot jsem získal dva průměry. Dva rozměry z důvodu možnosti posuvu v ose vozidla.



Obrázek 4-3 Ergonomický model pedálů [vlastní zdroj]

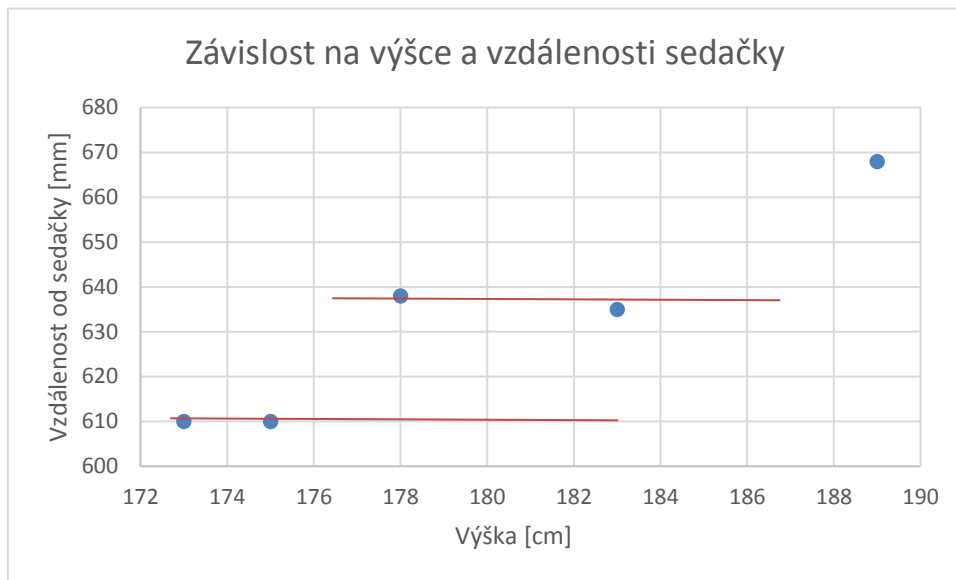
V našem týmu proběhlo několik měření na sestaveném simultánním ergonomickém modelu kokpitu pro získání sub-optimálního řešení vhodného posedu a nastavení pedálů tak, aby byl zvolen kompromis mezi všemi řidiči – či při velkém rozdílu potřebných poloh určena nastavitelná poloha. Pro plynový pedál bylo nutné vytyčit úhlové rozmezí (nestlačený / stlačený) jelikož na starém voze byl úhel moc velký a muselo dojít ke zdvihání paty ze zarážek tak aby došlo k propnutí kotníku.

Na modelu jsme měřili čtyři hodnoty a to vzdálenost od sedačky, vzdálenost mezi pedály, úhel sklonu pedálu a maximální výchylka pedálů. Jak již bylo zmíněno vzdálenost od sedačky je důležitá kvůli efektivitě při brždění, úhel pedálu v nulové poloze a vzdálenost mezi pedály je důležitá pro pohodlí řidiče a prevenci proti křečím, které mohou nastat při příliš velkém záklonu pedálu. Stanovení maximální pozice je potřebné proto, aby pata zůstala v opěrce a nedocházelo ke ztrátě podpory a ovladatelnosti.

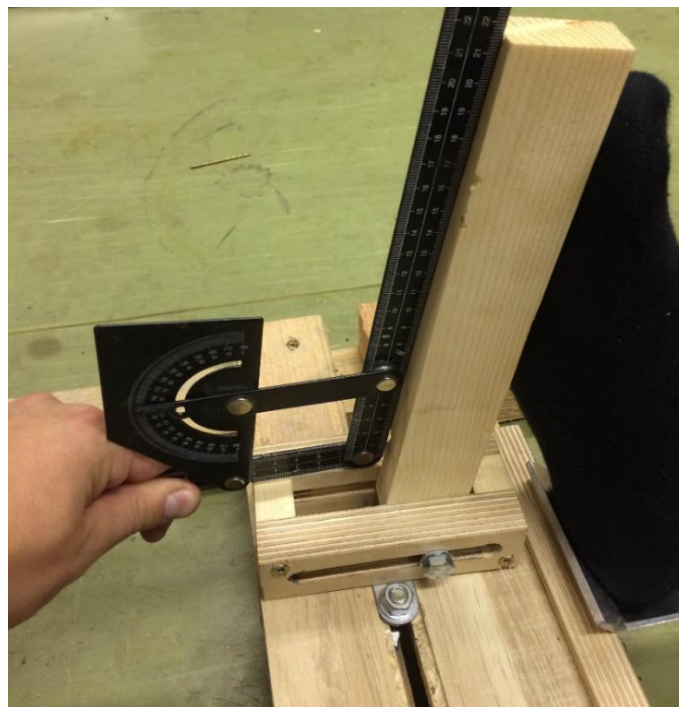
Tabulka 1 Naměřené hodnoty rozměrů pedálů

	Úhel plynového pedálu [°]	Úhel brzdového pedálu [°]	Maximální záklon pedálů [°]	Vzdálenost od sedačky [mm]	Rozchod pedálů [mm]
Martin	1	5	18	635	135
Petr	9	0	21	668	135
Ondra	7	7	20	638	135
Tomáš	6	5	19	610	135
Radovan	7	4	22	610	135

Z naměřených hodnot vyplývá, že rozchod pedálů vyhovoval všem řidičům v maximální možné výchylce, kterou vytvořený model umožňoval. Nastavení vzdálenosti pedálů od sedačky volíme hodnotu 610 a 647 mm. Maximální výchylku jsme zvolili 20 °. Rozdíly mezi hodnotami úhlů u obou pedálů jsou zanedbatelné, proto jsme zvolili 5 ° pro oba.



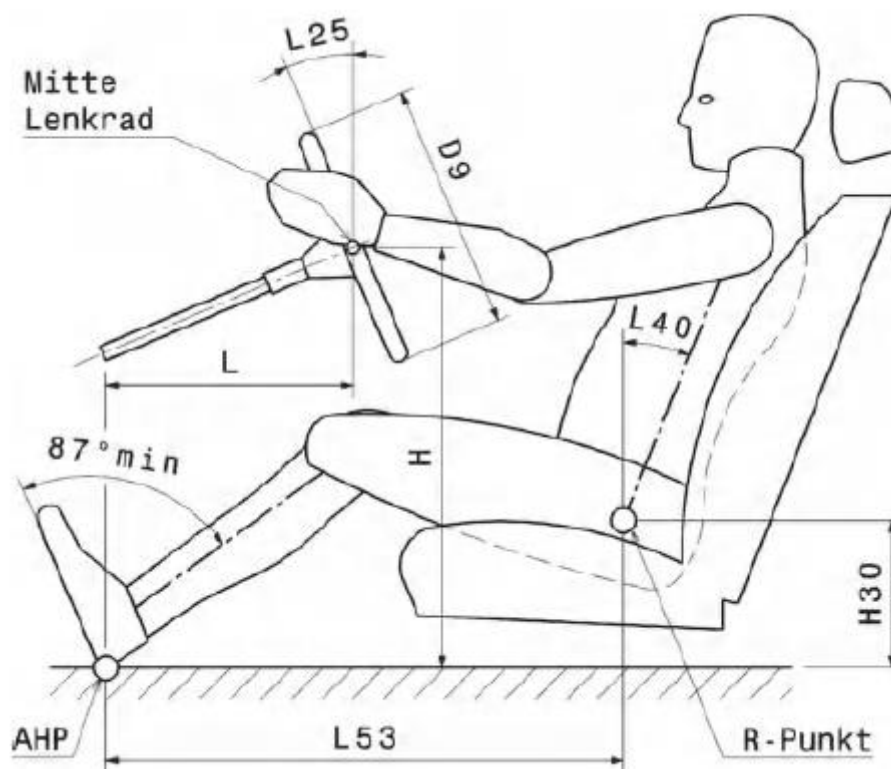
Obrázek 4-4 Graf závislosti výšky řidiče na vzdálenosti sedačky



Obrázek 4-5 Měření úhlu plynového pedálu [vlastní zdroj]

4.2 Volant

Volant je jedním z hlavních ovládacích prvků ve vozidle a musí dobře sloužit řidiči. V této souvislosti je důležité zejména umístění volantu vzhledem k sedadlu. U silničních vozidel jsou tyto rozměry normalizované. Obrázek 4-6 zobrazuje především to, že spodní hrana dlaně je ve střední ose volantu.



Obrázek 4-6 Poloha volantu u silničních vozidel [2]

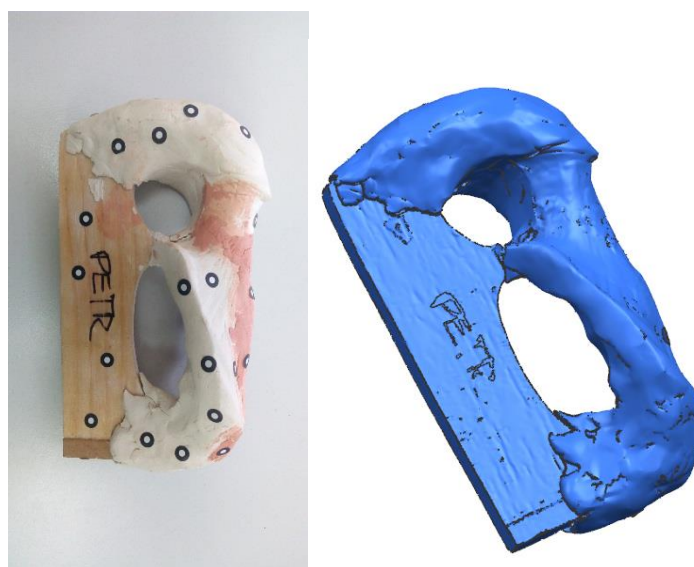
Volant by měl sedět pěkně v ruku a neměl by mít tenký věnec. Druhým kritériem je jeho průměr. Za minimální vzdálenost hrudního koše od volantu se udává 25 cm. Závodní typ volantu má většinou povrch potažený semišem, aby se nemohl v ruku smeknout a dobře se držel. Součástí může být i značka horní úvratí volantu (proužek na vrcholu věnce volantu) pro rychlé zjištění jeho polohy při závodech. Volant je nabitý elektronikou a to hlavně z důvodu absence prostoru v kokpitu formule. Jezdec na volantu sleduje velké množství údajů nejen o motoru, ale i spousty dalších. Je to jezdcovo jediné informační centrum.

Pro návrh volantu byl použit model vytvořený ze dřeva. Na tento model byla aplikována vytvrzovací modelína, kterou si řidiči vytvarovali do požadovaného tvaru. Po vytvrzení hmoty byly odstraněny nepřesnosti a všechny modely se polepily markery pro skenování a nechaly se za použití 3D scanneru naskenovat. Z těchto scanů byly vytvořeny 3D modely, které se daly do průniku. Výsledný model volantu byl následně upraven a dále byly na model přidány tlačítka

tak, aby byla snadno přístupná pro palec všech řidičů. V dalším kroku byla přidána „pádla“ pod volant, na kterých se měřila vzdálenost od zadního čela volantu. Vzdálenost pádel pro řazení je pevná a nedá se nastavovat. Proto byla vybrána průměrná hodnota, tak aby vyhovovala velikosti dlaně a délce prstů jezdců. Tyto hodnoty byly zjištěny z antropometrických dat (databáze velikosti rukou a dlaní evropské populace).



Obrázek 4-7 Postup výroby otisků dlaní [vlastní zdroj]

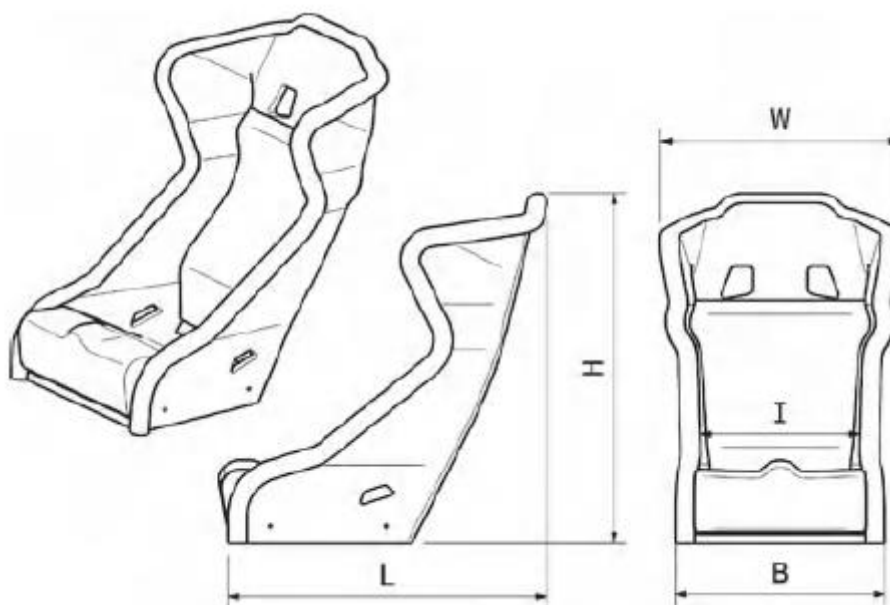


Obrázek 4-8 Skenování modelů volantů [vlastní zdroj]

Dále se z vytvořených modelů vytvořily výkresy forem, které se nechaly následně obrobit. Samotná výroba volantu spočívala v kladení předpřipravených nástřihů karbonových tkanin do formy v několika vrstvách a následné „upečení“ v autoklávu.

4.3 Sedačka

Tuhost sedačky a její uložení k rámu je důležité, aby zejména při brzdění mohl řidič správně dávkovat tlak na pedál a mohl vyvinout maximální sílu. Vzhledem k extrémním zrychlením v závodním voze potřebuje řidič tvarované sedadlo, aby mohl odpovídajícím způsobem kontrolovat chování vozu. Obrázek 4-9 znázorňuje hromadně používanou závodní sedačku, hmotnost takovéto sedačky se pohybuje kolem 9 kilogramů. Jelikož se snažíme dosáhnout co nejnižší hmotnosti vozidla je pro nás takováto váha nepřijatelná. Z tohoto důvodu jsme zvolili cestu výroby vlastní sedačky za použití kompozitních materiálů, zejména karbonových tkanin.



Obrázek 4-9 Závodní sedačka [2]

Sedačka slouží během jízdy k zachycení odstředivých a setrvačných sil působících na řidiče a tím mu umožňuje sedět ve správné poloze pro řízení vozu. Tvar sedačky závisí na základním posedu řidiče, který před návrhem musí tuto polohu určit. Jelikož v soutěži Formula Student musejí být minimálně čtyři řidiči, tak se volí základní posed s možností nastavení např. posunutí pedálů. Pro přesné vytvarování sedačky se použila montážní pěna, která se nastříkala do pytle, a řidič následně vyesedl její tvar. Dále tato forma z montážní pěny může být použita pro 3D skenování a následné modelování pro finální formu, která se použije při výrobě sedačky. Nebo si každý řidič „vysedí“ svoji sedačku z této pěny, ta bude následně upravena a použita jako vložka do sedačky, která má pouze základní a jednoduchý tvar. Toto řešení přináší maximální pohodlí a optimální posed pro každého z řidičů. Tyto pěnové vložky do sedaček se používají z důvodu jednoduché výměny a nízké ceny. Výroba celé sedačky je finančně a časově náročná. Samotná sedačka musí obsahovat také otvory pro bezpečnostní pětibodové pásy a držáky, či díry pro uchycení sedačky k rámu.

Sedačka je tvořena v plochách a tvar kopíruje 3D scan sedačky, která byla vytvořena pomocí základního dřevěného rámu a pytle naplněného montážní pěnou, která se následně „vyseděla“ všemi řidiči a poté byla převezena na 3D scan.

Sedačka může být případně v modelu posunuta, či naklopena, tyto změny pak ale ovlivňují posed řidiče a modelu není patrné, zda by mu to vyhovělo. Oproti sezoně 2016 byla pro sezonu 2017 zvolena sedačka s háky nahoře, pro ušetření jedné z trubek, potřebné pro upnutí pásů. Sedačka bude vyrobena pomocí formy z umělého dřeva, položením karbonových vláken – tzv. „prepreg“ a vložením do autoklávu.

U sedačky jsou nejdůležitější ty partie, které podporují tělo.



Obrázek 4-10 Podpůrné partie sedačky
[vlastní zdroj]

4.4 Palubní deska

Palubní deska u závodních vozů má jen málo společných částí jak je tomu u osobních komerčních vozidel. Na palubní desce mají být důležité informace jako zobrazování teploty oleje, teploty vody apod. Palubní deska má být co nejpřehlednější a ergonomicky dosažitelná aby se řidič nemusel namáhat, když kontroluje displej či musí přenastavit vůz pomocí tlačítek umístěných na palubní desce. Výroba samotné palubní desky komplikovaná není, pokud není součástí monococku.

Palubní deska pro vůz UWB17 byla vyrobena z karbonového vlákna. Byl do ní zakomponován display, který řidiči zpřístupní informace z čidel po celém autě. Na palubní desce se nachází pouze tlačítko CENTRAL Stop, regulační tlačítko pro nastavení brzd a startovací tlačítko. Ostatní tlačítka z důvodu lepší ergonomie budou umístěna na volantu.



Obrázek 4-11 Model palubní desky UWB2017 [vlastní zdroj]

4.5 Opěrka hlavy

Opěrky hlavy poskytují větší ochranu, pokud jsou co nejbližší u hlavy, protože tím dříve mohou přijít do kontaktu s hlavou a kontakt při nárazu vzad trvá déle. Správně navržená opěrka hlavy sníží pravděpodobnost ohýbání krku dozadu a zabrání poranění krční páteře. Opěrka by měla být maximálně 5 cm nad hlavou a minimálně ve stejné výšce temena hlavy.

Opěrka hlavy pro vůz UWB16 byla nejmenších možných rozměrů podle pravidel SAE International. Nový návrh opěrky hlavy využívá druhé varianty – tedy použití větších rozměrů, ovšem nepotřebnosti nastavení výšky. Díky této variantě bude na voze ušetřena jedna trubka o přibližných rozměrech $\varnothing 10 \times 300$ a zároveň ušetřena hmotnost samotné opěrky, jelikož není použita hliníková deska, ale karbon. Nárůst hmotnosti vzhledem k větší výstelce je zanedbatelný. Tato opěrka bude vyráběna pomocí sycení karbonových textilií pryskyřicí. Nejdříve se vyrobí deska – velice snadné na výrobu a zároveň pohledné, vzhledem k rovné desce lze vytvořit krásný, lesklý povrch karbonu. Dále se na desku nalepí pomocí speciálního lepidla Loctite absorpční pěna obšitá kůží či koženkou. Samotná deska opěrky hlavy bude jednoduše přinýtována k úchytům na rámu – konkrétně jedním úchytem dole, u sedačky a dvěma úchyty na hlavním oblouku rámu.



Obrázek 4-12 Model opěrky hlavy UWB2017 [vlastní zdroj]

5 Porovnání a vyhodnocení

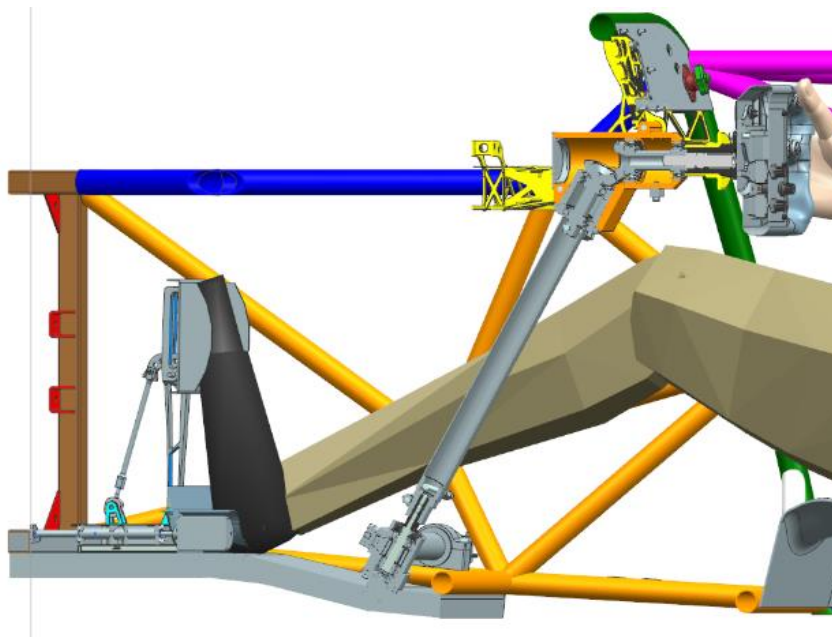
Pro porovnávání jednotlivých částí kokpitu mezi předchozími modely a letos konstruovaným vozem bylo využito několika metod. Ať už speciálních ergonomických softwarů jako je Jack Tecnomatix od firmy Siemens tak obvyčejné porovnávání numerických hodnot ve virtuálních modelech CAD systémů.

5.1 Pedály

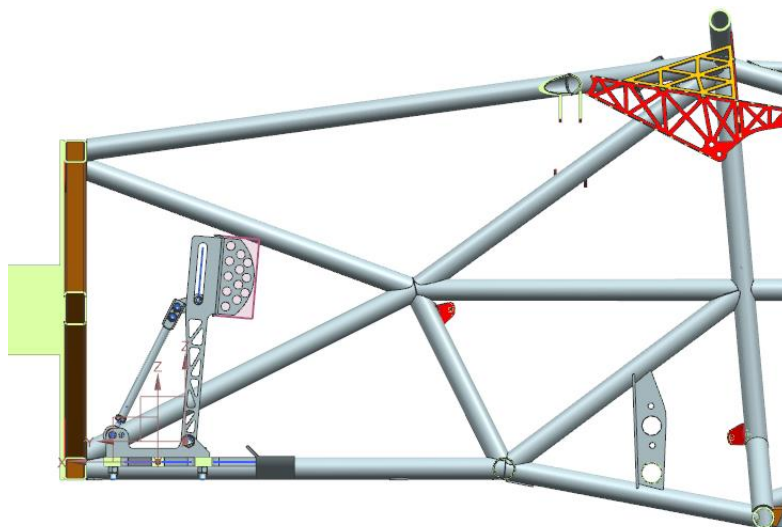
Při srovnávání s minulou formulí byl zjištěn rozdíl v maximální výchylce obou pedálů. Výchylka byla příliš velká. „předklon“ obou pedálů byl nadměrný, docházelo k bolestem v kotníkách a ke sklouzávání pat z určených pozic při delší jízdě. Zvláště u finálního závodu na 22 km. Tento úhel způsoboval přibrzdování a nevracení pedálu plynu do nulové polohy.

Nový pedálový box byl navržen tak aby pata zůstávala vždy v příslušných náslapech. Toho bylo dosaženo zredukováním úhlu naklonění pedálů a nastavením úhlu nulové polohy pedálů vůči vertikální ose. U modelu UWB2016 byl maximální úhel přibližně 45° . U letošního modelu jsme tento úhel zredukovali na 20° . Úhel nulové pozice byl 90° a to bylo nepohodlné, proto došlo ke zvětšení o 5° . Další úprava se týkala výšky uložení opěrky chodidel. Ta byla zkrácena o 40 mm. Tato změna zapříčinila přesnější a pohodlnější ovládání pedálů.

Obě předešlé změny napomohly ke zmenšení zástavbového prostoru pro pedálový box a také ke snížení hmotnosti celého vozidla,



Obrázek 5-1 Navržené pedály UWB2017 [vlastní zdroj]



Obrázek 5-2 Pedály UWB2016 [vlastní zdroj]

5.2 Volant

Na předchozím modelu vozu byl nejprve použitý nově navržený karbonový volant, který měl hned tři nedostatky. Prvním nedostatkem byla samotná velikost volantu, která měla za následek nutnost použití velkých sil k zatočení kol z důvodu malé šířky volantu. Druhá vada byla tloušťka věnce. Věnc byl moc úzký, proto byl úchop nepohodlný a křečovitý. Na šířku věnce nebyla použita žádná ergonomická analýza či použití antropometrických rozměrů a proto měl špatnou tloušťku už při navrhování. Třetí závadou byla špatně umístěná řadicí pádla, u kterých došlo při první maximální výchylce volantu k ulomení. Tato závada vznikla z důvodu, že nebylo použito fyzického modelu pro otestování či virtuálního modelu pro kontrolu.



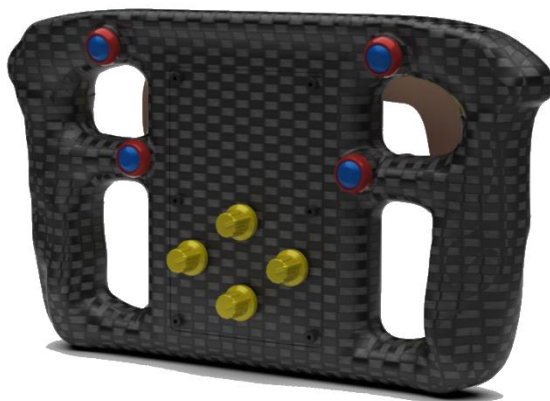
Obrázek 5-3 Model volantu UWB 2016 [vlastní zdroj]

Kvůli těmto omylům byl nový volant nahrazen z předchozího modelu formule z roku 2013. Tento model měl kovové tělo a na něm namontovaná madla ze dřeva. Jelikož vůz z roku 2013 neměl pneumatické řazení, bylo zapotřebí domontovat pádla a zajistit, aby nedošlo k žádné další kolizi a k jejich ulomení.



Obrázek 5-4 Model volantu 2013 [vlastní zdroj]

Nový volant je navržený podle přesných dat přímo od řidičů, proto se bude dát lépe uchopit. Šířka volantu zásadně ovlivňuje rozměr výšky předního oblouku. Proto se nejdříve navrhl větší volant a následně se podle něj řídila výška předního hlavního oblouku. U fyzického modelu kokpitu byl použit volant s otláčky a s namontovanými pádly řazení, aby byl otestován v maximálních možných výchylkách tak, aby se zabránilo jakékoliv kolizi mezi ostatními prvky řízení či kokpitu. Veškerá tlačítka byla rozmístěna s ohledem na možnosti rozsahu poloh palců měřených řidičů.



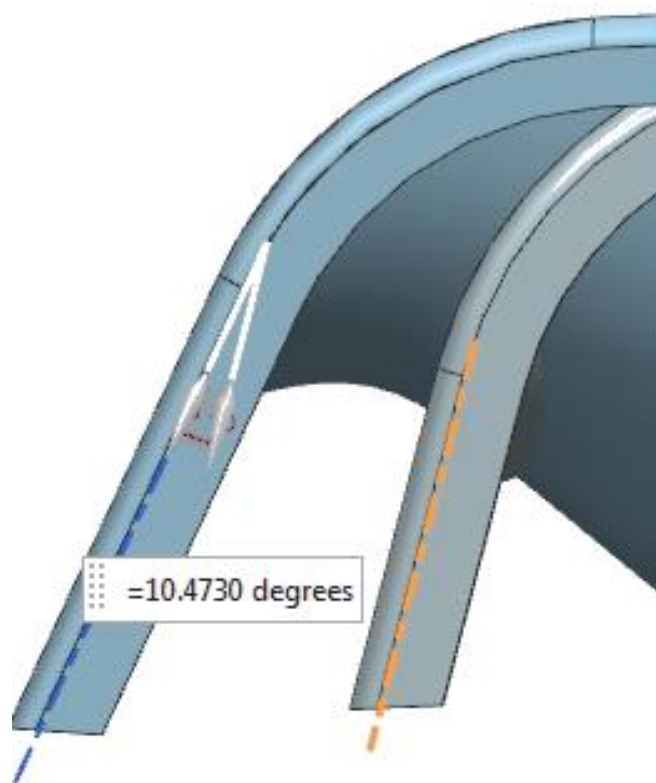
Obrázek 5-5 Model volantu UWB2017 [vlastní zdroj]

5.3 Sedačka

Oproti sériově vyráběným sedačkám jsme na sedačce vlastní výroby ušetřili přibližně 6 – 7 kilogramů. Dalším rozdílem je přesnost tvaru sedačky, která částečně odpovídá tvaru těla samotného řidiče, což je pro řidiče pohodlnější a není potřeba používání bederních výstelek.

U předchozího modelu byla použita sklolaminátová sedačka, která měla daleko nižší tuhost, a to mělo za následek nedostatečnou oporu tělesných partií. Z tohoto důvodu nebyli řidiči schopni odvést maximální výkon, protože nemohli spolehlivě ovládat brzdový a plynový pedál.

Obrázek 5-8 zobrazuje rozdíl úhlu náklonu sedačky vzhledem k předcházejícímu modelu, který byl změněn o $10,5^\circ$, tato změna způsobila lepší polohu těla řidiče, která byla v předchozí verzi příliš položená. Také to mělo za následek zlepšení výhledu z vozidla, na který si řidiči s menším vzrůstem stěžovali.



Obrázek 5-6 Změna úhlu sedačky [vlastní zdroj]

Závěr

Cílem této práce bylo provést rešerši ergonomie kokpitu a všech jeho částí, následné testování na vytvořených modelech a na závěr zhodnocení a přínosy pro formuli SAE vyvíjené na Západočeské univerzitě v Plzni.

První krok byl průzkum v oblasti závodních automobilů a jejich kokpitů z odborné literatury a publikací.

Druhým krokem při návrhu kokpitu byla výroba modelu, který sloužil k určení základních rozměrů prostorového trubkového rámu a hlavních částí kokpitu, jako jsou pedály, sedačka, volant, palubní deska a opěrka hlavy. Následné určení základních vzdáleností všech částí od pevného bodu, kterým byl zvolen spodní bod sedačky. Všechny tyto základní rozměry byly určeny v souladu s pravidly soutěže FSAE 2017.

Po určení základních rozměrů a vzdáleností jednotlivých částí se přešlo k jednotlivým prvkům, pro které byl vytvořen specifický model. Byly vytvořeny modely pro pedály, sedačku, volant a palubní desku. Na těchto modelech probíhalo testování, kdy si každý řidič, který bude s vozem v budoucnu opravdu závodit, vyzkoušel model a jeho různá nastavení. Optimální nastavení pro každého řidiče bylo zaznamenáno a následně použito při vytváření virtuálního modelu a při rozhodování o postupu při návrhu. Vytvořený 2D model byl použit pro kontrolu, zda nebyla porušena pravidla. Dále byl 2D model použit pro tvorbu 3D modelu, který sloužil jako základní stavební kámen pro návrh celého vozu.

Modely prvků kokpitu byly vytvořeny k odstranění nedostatků z předchozího vozu a pro splnění požadavků jednotlivých řidičů. Mezi největší nedostatky patřilo nastavení nulové polohy a maximální výchylky u plynového a brzdového pedálu, což způsobovalo křeče a ztuhnutí nohou. To pak vedlo ke snížení ovládací schopnosti vozidla. Dalším nedostatkem byl výhled z vozu, speciálně viditelnost dopravních kuželů přes přední křídlo, ze kterých je postavena závodní trať. Za každý sražený kužel dostává tým časovou penalizaci, která je v závodě nechtěná. Mezi nedokonalosti na předchozím voze patřil i volant, který měl malé rameno otáčení, proto byly potřeba velké síly k zatočení vozu. Síly byly tak velké, že řidič nebyl po pár kolech schopen udržet tempo, byl nucen zpomalit a šetřit síly. Předchozí volant nebyl navržen z ergonomického hlediska, měl tenká madla, a proto nebylo pohodlné s ním zatáčet po delší dobu.

Navržené části kokpitu byly před finální výrobou otestovány. CAD model volantu byl vytištěn na 3D tiskárně a úchop vyzkoušen všemi řidiči. Pěnový model sedačky byl také vyzkoušen všemi řidiči a pro jeho malou šířku následně upraven v CAD modelu. Po otestování všech modelů byla zahájena výroba. Volant byl vyroben laminací karbonových vláken a následně osazen ovládacími prvky a pádly pro řazení. Sedačka byla také „vylaminována“. Pedálový box sestaven z jednotlivých dílů.

Na základě této bakalářské práce bylo navrženo a vyrobeno několik prvků kokpitu studentské závodní formule, která se úspěšně zúčastnila mezinárodních závodů.

Seznam použité literatury

- [1] BUREŠ, M., *Řízení a organizace práce* - podklady k přednáškám
- [2] BUREŠ, M. ŽIVDIG : Tvorba a optimalizace pracoviště, e-book. Plzeň: ZČU-KPV, 2013. ISBN 978-80-87539-32-3.
- [3] GILBERTOVÁ, S., MATOUŠEK, O.: Ergonomie – optimalizace lidské činnosti GRADA, Praha, 2002, ISBN 80-247-0226-6.
- [4] MAXDORF. Antropometrie. VELKÝ LÉKAŘSKÝ SLOVNÍK.[online]. 6.12.2016 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://lekarske.slovniky.cz/pojem/antropometrie>
- [5] RUBÍNOVÁ, Dana. Ergonomie. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství
- [6] CERM, 2006, 62 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v
- [7] Brně). ISBN 80-214-3313-2.
- [8] ŠEDIVÝ, V., www.aee-sedivy.cz [online]. 2016 [cit. 2016-12-6]. Ergonomie.
- [9] Dostupné z WWW: <http://www.aee-sedivy.cz/ergonomie/>
- [10] KPV. Tecnomatix Jack. Digital Factory. [online]. 6.12.2016 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://digipod.zcu.cz/index.php/cs/oblasti-nasazeni/ergonomie/jack>
- [11] KPV. Praktické aplikace VR. Digital Factory. [online]. 6.12.2016 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://digipod.zcu.cz/index.php/cs/laboratore/laborator-virtualni-reality/prakticke-aplikace-vr>
- [12] PRAŽAN, V, Antropometrie. ININET. [online]. 6.12.2016 [cit. 2016-12-06]. Dostupné: http://ininet.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=250:antropometrie&catid=9:clanky&Itemid=16
- [13] Virtual Grand Prix. Simulador F1. [online]. 6.12.2016 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://simuladorformula1.blogspot.cz>
- [14] SQUADRA CORSE. our-cars. E-Team Squadra Corse. [online]. 6.12.2016 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://www.eteamsquadracorse.it>
- [15] Arizona State University. No brake: ASU team powers through to edge closer to race car. Arizona State University. [online]. 6.12.2016 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <https://asunow.asu.edu/20151217-creativity-no-brake-asu-team-powers-through-edge-closer-race-car>
- [16] TRZESNIEWSKI, M.: Rennwagentechnik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014, 1046 s. ISBN 978-3-658-04918-8.
- [17] Panter Racing. IMGRUM. [online]. 6.12.2016 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://www.imgrum.net/user/pittfsae/489170534>
- [18] Ergonomie. Autolexicon. [online]. 6.12.2016 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/ergonomie/>