

UNIVERZITET UMETNOSTI U BEOGRADU



ФАКУЛТЕТ ПРИМЕНЉЕНИХ УМЕТНОСТИ

---

mr Marko Luković

STILSKO OBLIKOVANJE U USLOVIMA STROGIH FUNKCIONALNO-  
TEHNIČKIH ZAHTEVA NA PRIMERU DIZAJNA TAKMIČARSKOG  
SOLARNOG AUTOMOBILA U KATEGORIJI „KRUZER“

Doktorski umetnički projekat

---

Mentor: mr Dušan Nešić, redovni profesor

Beograd, 2021.

UNIVERSITY OF ARTS IN BELGRADE



FACULTY OF APPLIED ARTS

---

Marko Luković, M.A.

STYLING IN THE CONDITIONS OF STRICT FUNCTIONAL-TECHNICAL  
REQUIREMENTS ON THE EXAMPLE OF DESIGN OF A COMPETITIVE  
SOLAR AUTOMOBILE IN THE *CRUISER* CATEGORY

Doctoral Art Project

---

Mentor: Dušan Nešić, M.A., full professor

Belgrade, 2021.

## SADRŽAJ

Apstrakt / Abstract .....	IV
0. UVOD .....	1
0.1. Predmet i umetnički cilj rada .....	1
0.2. Učešće u realizaciji projekta izrade solarnog automobila u kategoriji <i>Cruiser</i> i naknadna istraživanja novog konceptualnog dizajnerskog rešenja električnog automobla .....	1
0.3. Struktura i tehničke karakteristike pisanog rada .....	3
<b>I. PRIPREMNI DEO</b>	
1. PRIMENA PRINCIPA AERODINAMIKE U PROJEKTOVANJU AUTOMOBILA .....	4
1.1. Pojam i metode istraživanja aerodinamike .....	4
1.2. Aerodinamična i hidrodinamična tela u prirodi .....	4
1.3. Aerodinamika različitih bazičnih oblika .....	5
1.4. Naučno-eksperimentalni primeri aerodinamike različitih bazičnih oblika .....	6
1.5. NACA profili ( <i>NACA airfoils</i> ) .....	6
1.6. Primeri originalnog dizajna automobila konstruisanih po principu NACA profila .....	7
1.7. <i>Ahmedovo telo (Ahmed Body)</i> .....	9
1.8. Venturi efekat – <i>Venturijev tunel</i> .....	10
2. AERODINAMIKA KROZ ISTORIJU AUTOMOBILIZMA .....	12
2.1. Rani pokušaji kreiranja aerodinamičnog automobila .....	12
2.2. Prvi aerodinamički projektovani automobili .....	13
2.3. <i>Streamline Style / Design</i> („Aerodinamički stil“) .....	13
2.4. <i>Bio-dizajn</i> u automobilizmu – Luidi Kolani .....	14
2.5. Prevođenje principa dinamike fluida iz prirode u dizajn vozila i letelica .....	15
3. SOLARNI AUTOMOBILI U OKVIRU RAZVOJA AUTOMOBILIZMA .....	18
3.1. Pojava automobila na električni pogon solarnog porekla – solarni automobili .....	18
3.2. Bazična konstrukcija solarnog automobila .....	19
4. PROJEKAT ITALIJANSKOG NACIONALNOG TIMA <i>ONDA SOLARE</i> NA IZRADI SOLARNOG AUTOMOBILA <i>EMILIA 4</i> U KATEGORIJI <i>CRUISER</i> .....	22
4.1. Nastanak udruženja i nacionalnog takmičarskog tima <i>Onda Solare</i> .....	22
4.2. Izrada solarnog automobila u kategoriji <i>Cruiser</i> – nov izazov pred timom <i>Onda Solare</i> .....	23
4.3. Primenjivanje pravila <i>WSC 2015</i> pri izradi solarnog automobila u kategoriji <i>Cruiser</i> .....	25
<b>II. KREATIVNO-EKSPERIMENTALNI DEO</b>	
5. SARADNJA DIZAJNERA MARKA LUKOVIĆA I TIMA <i>ONDA SOLARE</i> NA PROJEKTU IZRADI SOLARNOG AUTOMOBILA U KATEGORIJI <i>CRUISER</i> .....	29
6. ODREĐIVANJE POZICIJE SOLARNIH PANELA I PAKETA-MODULA BATERIJA NA SOLARNOM AUTOMOBILU U KATEGORIJI <i>CRUISER</i> .....	32
6.1. Ispitivanje optimalne pozicije solarnih panela na solarnom automobilu .....	32
6.2. Ispitivanje optimalne pozicije paketa-modula baterija unutar solarnog automobila .....	33

7. FAZE KREATIVNO-ISTRAŽIVAČKOG RADA NA DIZAJNIRANJU SOLARNOG AUTOMOBILA U KATEGORIJI <i>CRUISER</i> .....	35
7.1. Osnovni elementi kreativno-istraživačkog rada na dizajnu solarnog automobila .....	35
7.2. Izrada šireg izbora inicijalnih idejnih rešenja – skice i kolorisanje u 2D softveru .....	35
7.3. Uži izbor – tri dizajnerska inicijalna idejna rešenja za dalju razradu .....	36
Prvo dizajnersko rešenje – skica br. 1. ....	36
Drugo dizajnersko rešenje – skica br. 2. ....	37
Treće dizajnersko idejno rešenje – skica br. 3. ....	37
7.4. Upotreba 3D softvera za modelovanje i vizuelizaciju .....	38
7.5. Vazdušni tunel: dva moguća pravca dizajniranja solarnog automobila .....	38
7.6. Izbor varijanata dizajna eksterijera solarnog vozila – bez vazdušnog tunela .....	39
Varijanta 1 – bez vazdušnog tunela .....	39
Varijanta 2 – bez vazdušnog tunela .....	40
Varijanta 3 – bez vazdušnog tunela .....	40
Varijanta 4 – bez vazdušnog tunela .....	42
7.7. Varijante dizajna solarnog automobila – sa vazdušnim tunelom .....	43
Varijanta 1 – sa vazdušnim tunelom .....	43
Varijanta 2 – sa vazdušnim tunelom .....	46
Varijanta 3 – sa vazdušnim tunelom: preliminarno rešenje dizajna solarnog automobila .....	47
7.8. Konceptualno rešenje dizajna elemenata enterijera solarnog automobila .....	50
8. OPTIMIZACIJA PRELIMINARNOG I USVAJANJE FINALNOG REŠENJA DIZAJNA SOLARNOG AUTOMOBILA U KATEGORIJI <i>CRUISER</i> .....	52
8.1. Ugao preglednosti (vidnog polja) iz kabine automobila .....	52
8.2. Bezbednost glave putnika u automobilu tokom vožnje .....	53
8.3. Bezbednost tela putnika u automobilu tokom vožnje .....	54
8.4. Ugao skretanja prednjih točkova .....	55
8.5. Završna optimizacija aerodinamike karoserije i usvajanje finalnog rešenja dizajna .....	57
9. GRAFIKA PROIZVODA U FINALNOM REŠENJU DIZAJNA SOLARNOG AUTOMOBILA <i>EMILIA 4</i> U KATEGORIJI <i>CRUISER</i> .....	60
9.1. Grafika proizvoda i uticaj izbora boje površine tela automobila na njegovu masu .....	60
9.2. Izbor homologizovanih prednjih i zadnjih svetala iz kataloga proizvođača .....	62
9.3. Fotorealistična 3D vizuelizacija (digitalni rendering) solarnog automobila .....	64
10. INŽENJERSKO PROJEKTOVANJE I PROIZVODNJA PROTOTIPA SOLARNOG AUTOMOBILA <i>EMILIA 4</i> .....	65
10.1. Priprema inženjerskog 3D CAD modela za proizvodnju .....	65
10.2. Izrada detaljnog 3D CAD modela i priprema za proizvodnju .....	65
10.3. Izrada i namena umanjenih modela (maketa) solarnog automobila .....	66
10.4. Korišćeni materijali u postupku izrade solarnog automobila <i>Emilia 4</i> .....	67
10.5. Postupak izrade master modela i kalupa-alata za izradu delova karoserije .....	67
10.6. Sklapanje (asembliranje) delova karoserije solarnog automobila <i>Emilia 4</i> .....	70
10.7. Probna vožnja i testiranje novog solarnog automobila <i>Emilia 4</i> .....	73
10.8. Tehničke karakteristike solarnog automobila <i>Emilia 4</i> u kategoriji <i>Cruiser</i> .....	74

11. <i>EMILIA 4</i> – JAVNO PREDSTAVLJANJE I POBEDA NA TAKMIČENJU SOLARNIH AUTOMOBILA <i>AMERICAN SOLAR CHALLENGE 2018</i> .....	76
11.1. Javno predstavljanje novog solarnog automobila <i>Emilia 4</i> .....	76
11.2. Učešće na takmičenju <i>American Solar Challenge 2018</i> i pobeda u kategoriji <i>Cruiser</i> .....	76
11.3. Javne prezentacije i dokumentovanje pobjedničkog solarnog automobila <i>Emilia 4</i> .....	78

### III. DEO NOVO MOGUĆE DIZAJNERSKO REŠENJE ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA

12. OD ISKUSTVA U DIZAJNIRANJU SOLARNOG AUTOMOBILA DO IDEJE O DIZAJNIRANJU NOVOG ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA .....	81
12.1. Vrednosti i dometi stečenog iskustva na dizajniranju solarnog automobila <i>Emilia 4</i> .....	81
12.2. Tendencije kreiranja novih klasa vozila u savremenoj automobilskoj industriji .....	82
12.3. Električni automobili – nova era automobilske industrije .....	84
12.4. Nove mogućnosti u postavkama elemenata <i>package</i> -a i stajlinga automobila .....	86
12.5. Ideja o dizajniranju novog električnog automobila .....	87
13. ELEMENTI ARHITEKTURE AUTOMOBILA .....	89
13.1. Raspored funkcionalnih elemenata – arhitektura automobila ( <i>package</i> ) .....	89
13.2. Ključne „tvrde tačke“ u arhitekturi automobila ( <i>hardpoints</i> ) .....	90
13.3. Pozicija i položaj putnika unutar automobila ( <i>package</i> putnika) .....	90
14. IDEJNA REŠENJA – ISTRAŽIVANJE VARIJACIJE FORME NOVOG AUTOMOBILA .....	93
14.1. Inicijalne skice mogućih novih rešenja .....	93
14.2. Skulpturalno-umetničko istraživanje varijacija forme kroz kompjuterski 3D model .....	96
15. KARAKTERISTIKE NOVOG REŠENJA DIZAJNA ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA .....	98
15.1. Opšte karakteristike dizajna električnog automobila – klasa kupe-limuzina ( <i>fast-back</i> ) .....	98
15.2. Primljeni principi aerodinamike .....	100
1. NACA profil – aerodinamička ideja vodilja .....	100
2. Venturi efekat – <i>Venturijev tunel</i> .....	101
3. Analiza aerodinamike novodizajniranog električnog automobila – CFD simulacije .....	102
15.3. Raspored pogonskog sistema i baterija, položaj putnika i prtljažni prostor .....	105
15.4. Vidno polje i distanca između glava putnika i krova automobila .....	107
15.5. Napajanje električnom energijom – solarni paneli, elektropunjači i rekuperacija .....	108
15.6. Izgled točkova, felni i guma .....	109
15.7. Grafika proizvoda (automobila) .....	110
ZAKLJUČNA RAZMATRANJA – UMETNIČKO-ISTRAŽIVAČKI DOPRINOS .....	113
IZVORI I LITERATURA .....	116
PRILOZI 1–4 .....	120
Biografski podaci .....	126

## Apstrakt

Ovaj doktorski umetnički projekat posvećen je mom kreiranju optimalnog stilskog oblika za eksterijer i elemente enterijera takmičarskog solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* koji je nastao u realizaciji projekta *Emilia 4* u Bolonji (Italija), uz uvažavanje strogih funkcionalno-tehničkih zahteva iz pravilnika takmičenja (trke) solarnih automobila *World Solar Challenge 2015* (Australija). Projekat je realizovao multidisciplinarni tim udruženja *Onda Solare* povezan sa Univerzitetom u Bolonji. Ja sam kao dizajner uključen u rad tog tima u svojstvu stipendiste doktorskih studija (2015/2016) na Univerzitetu u Bolonji, a na osnovu svojih prethodnih rezultata u realizaciji projekata dizajniranja različitih tipova vozila. Prikazani su svi elementi, faze i tehnike mog rada na kreiranju dizajna solarnog automobila u kategoriji *Cruiser*, uz korišćenje kompjuterskih 3D CAD-CAM softvera i eksperimentalno proveravanje svih aerodinamičnih performansi kroz CFD (*Computer Fluid Dynamics*) analize. Moje finalno dizajnersko rešenje prihvaćeno je i korišćeno u konačnoj izradi solarnog automobila *Emilia 4*, koje je pobedničkim učešćem na takmičenju solarnih automobila *American Solar Challenge* u kategoriji *Cruiser* (SAD, 2018) potvrdilo svoje kvalitete. Posle iskustva u radu na projektu *Emilia 4* i na osnovu mog celokupnog dvadesetogodišnjeg iskustva u dizajniranju različitih tipova vozila, uz uvažavanje aktuelnih tendencija u savremenoj automobilskoj industriji – na kraju definišem koncept dizajna električnog automobila za opštu upotrebu u drumskom saobraćaju (koji bi se napajao energijom iz elektromreže), uz implementaciju solarnih panela kao sredstva dodatnog izvora električne energije. Preciznije, moja ideja je bila da osmislim dizajn električnog automobila koji bi vizuelno pripadao kategoriji kupe-limuzina (*fast-back*) za četiri putnika, uz dodatnu inspiraciju oblikom *muscle-car* automobila. Tako osmišljen dizajn predstavljao bi model futurističkog automobila sa izrazitim aerodinamičnim i sportskim karakteristikama.

*Ključne reči:* solarni automobil *Cruiser*, *Emilia 4*, aerodinamika, dizajn-proces, 3D CAD-CAM, CFD analize, konceptulani dizajn, električni automobil, *fast-back*, *muscle-car*

## Abstract

This PhD-artistic project is dedicated to the creation of the optimal stylistic shape for the exterior and the elements of the interior of the competitive solar car in the *Cruiser* category, that was part of the *Emilia 4* project from Bologna (Italy), with respect to the strict functional and technical requirements concerning the Regulations of competition (race) of solar cars *World Solar Challenge 2015* (Australia). The project was implemented by a multidisciplinary team of the *Onda Solare* association affiliated with the University of Bologna. As a designer, I have been involved in the work of this team as a PhD candidate with scholarship (2015/2016) at the University of Bologna, based on my previous results in designing different types of vehicles. All the elements, phases and techniques of my work in designing the solar car in the *Cruiser* category are presented, with the use of computer 3D CAD-CAM software and experimental verification of all aerodynamic performance through CFD (*Computer Fluid Dynamics*) analysis. My final design solution was accepted and used in the creation of the final design of the *Emilia 4* solar car, which confirmed its qualities by winning the *American Solar Challenge* in the *Cruiser* category (USA, 2018). After the experience I have gained working on the *Emilia 4* project, based on the twenty years of work experience, taking into account current trends in the modern car industry – I finally define the concept design of an electric vehicle for general use in road traffic (powered by energy from electric grid), with the use of solar panels as a means of an additional source of electrical energy. More precisely, my idea was to design an electric car that would visually belong to the category of coupe-limousine (*fast-back*) for four passengers, additionally inspired by the form of a *muscle-car* vehicle. Such a design would represent a model of a futuristic car with distinct aerodynamic and sporting characteristics.

*Keywords:* solar car *Cruiser*, *Emilia 4*, aerodynamics, design process, 3D CAD-CAM, CFD analysis, conceptual design, electric vehicle, *fast-back*, *muscle-car*

## 0. UVOD

### 0.1. Predmet i umetnički cilj rada

Predmet i umetnički cilj rada definisani su u izveštaju Komisije za procenu teme mog umetničkog doktorskog projekta, koji su prihvatili Nastavno-umetničko veće Fakulteta primenjenih umetnosti i Senat Univerziteta umetnosti u Beogradu:

„Predmet doktorskog umetničkog projekta je kreacija optimalnog stilskog oblika za spoljni izgled i unutrašnji putnički prostor solarnog takmičarskog automobila u novoj kategoriji Kruzer. Osnovni umetnički cilj je da se, na osnovu svih potrebnih istraživanja i ispitivanja kreiraju originalne, estetski artikulisane strukture i oblici, sa prepoznatljivim stilskim i jasnim simboličkim vrednostima, koje će moći da budu primenjene za dalji razvoj, konstrukciju i izradu solarnog trkačkog automobila od lakih i čvrstih kompozitnih materijala.

Da bi navedeni cilj mogao da bude ostvaren, tokom rada na umetničkim i dizajnerskim istraživanjima biće neophodno da se razviju posebne metode i primene specifični softveri, kako bi se kreirana rešenja ispitivala i vrednovala, ne samo umetničkim, estetskim merilima, već i prema funkcionalnim, ergonomskim i tehničko-tehnološkim kriterijumima, zahtevima i normama koji su uslovljeni dobrom praksom i utiču na takmičarske performanse ovog solarnog automobila ili su propisani homologacijskim pravilnikom i propozicijama takmičenja.“

„Poseban izazov i vrednost ovog umetničkog doktorskog rada predstavlja i to što je realizacija projekta planirana u okviru saradnje sa multidisciplinarnim timom Onda Solare pri Departmanu za industrijsko inženjerstvo Univerziteta u Bolonji, iz Italije (DIN – Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Bologna, Italia), čiji je krajnji cilj da se ovaj solarni automobil proizvede i učestvuje na World Solar Challenge 2017 – takmičenju uglavnom univerzitetskih timova iz celog sveta. U tom smislu kandidat je aplicirao za stipendiju SUNBEAN u okviru programa ERASMUS + za školsku 2015/16, koja će mu omogućiti studijsko-istraživački boravak u laboratorijama DIN-a u Bolonji.“

### 0.2. Učešće u realizaciji projekta izrade solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* i naknadna istraživanja novog konceptualnog dizajnerskog rešenja električnog automobla

Ja sam se uključio u realizaciju projekta izrade solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* („kruzer“ / „krstarica“) u Bolonji na osnovu poziva koji mi je uputio prof. dr Kristijano Fragasa (Cristiano Fragassa) sa Departmana za industrijsko inženjerstvo Univerziteta u Bolonji (*Dipartimento di Ingegneria Industriale – DIN, Università di Bologna*), koji je ujedno bio član

multidisciplinarnog projektantskog ima *Onda Solare* i glavni menadžer projekta (vid. *Prilog 1: Acceptance letter*, 24. 03. 2015). Ovaj poziv iz Bolonje bio je zasnovan na rezultatima mog prethodnog rada u oblasti industrijskog dizajna, posebno u dizajniranju automobila. Na osnovu pozivnog pisma, u skladu sa predviđenom procedurom, podneo sam svoj radni plan za šestomesečni studijski boravak na Univerzitetu u Bolonji (vid. *Prilog 2: Work Plan for Doctorate Exchange and Post-Doc Academic year 2015/2016*, 30. 03. 2015). S tim u vezi aplicirao sam potrebne dokumente i dobio stipendiju za razmenu studenata doktorskih studija S.U.N.B.E.A.M. (*Structured UNiversity mobility between the Balkans and Europe for the Adriatic-ianian Macro-region*) u okviru obrazovnog programa Evropske zajednice *Erasmus Mundus* + za školsku 2015/2016. godinu. Ova stipendija omogućila mi je šestomesečni boravak u Bolonji (od početka decembra 2015. do početka juna 2016. godine), a time i neposrednu saradnju sa multidisciplinarnim projektantskim timom *Onda Solare*, tj. učešće u realizaciji projekta izrade solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* (vid. *Prilog 3: S.U.N.B.E.A.M. – CERTIFICATE OF ARRIVAL and DEPARTURE*, 30. 05. 2016). Prof. dr Kristijano Fragasa sačinio je i finalni izveštaj o mom stručnom učinku tokom šestomesečnog studijskog boravka na Univerzitetu u Bolonji (vid. *Prilog 4: Final report*, 19/30. 05. 2016).

Šestomesečno učešće u realizaciji navedenog projekta završio sam tako što je tim *Onda Solare* – posle svih kreativno-istraživačkih faza mog rada, saradnje sa svim članovima tima raznih struka i izvršenih eksperimentalnih provera – usvojio moje kompletno finalno dizajnersko rešenje. Usledilo je tzv. „zamrzavanje stila“, a potom i inženjerska i konstruktorska razrada usvojenog dizajnerskog rešenja kroz pripremu 3D CAD modela i pripremu za proces proizvodnje. Solarni automobil u kategoriji *Cruiser*, pod nazivom *Emilia 4*, proizveden je u junu 2018. godine u pogonima specijalizovanih italijanskih kompanija, privredno-poslovnih partnera tima *Onda Solare*. Već u julu iste godine učestvovao je na kontinentalnom takmičenju (trci) solarnih automobila *American Solar Challenge*. Tako je i formalno označen kraj predviđenog praktičnog dela mog doktorskog umetničkog projekta.

Na osnovu svih mojih ranijih i novostečenih iskustava i znanja u realizaciji projekta *Emilia 4*, kod mene se javila nova *kreativna inspiracija* – mentorski podržana i usmeravana – da preko novog pravca naknadnih dizajnersko-umetničkih i akademskih istraživanja dođem do drugačijeg, dizajnerski i estetski unapređenog, konceptualnog rešenja dizajna novog električnog automobila. Automobil bi bio namenjen za opštu upotrebu u drumskom saobraćaju, napajao bi se iz elektromreže, a imao bi mogućnost dodatnog napajanja preko implementiranih solarnih panela. Ovako zamišljeno konceptualno rešenje obeležile bi i nove estetske karakteristike, koje reprezentuju upravo moj *lični dizajnerski jezik* (*design language / style*), uz primenu aerodinamičkih principa i svih iskustava stečenih u radu na realizaciji projekta izrade takmičarskog solarnog automobila *Emilia 4* u kategoriji *Cruiser*.



Time je rad na praktičnom delu mog doktorskog umetničkog projekta proširen u novom pravcu. Oba ova pravca istraživanja međusobno su sadržinski i metodološki povezana, tako da ih je neophodno sagledati zasebno i analizirati integralno. Metode koje sam razvio i koristio u tim istraživanjima i rešenja do kojih sam došao u stilskom oblikovanju oba tipa automobila predstavljaju moj umetničko-istraživački doprinos u sferi dizajna automobila, koji stavljam na uvid i raspolaganje široj i istraživačko-akademskej zajednici.

### **0.3. Struktura i i tehničke karakteristike pisanog rada**

Ovaj pisani rad ima ukupno 15 poglavlja, koja su prema njihovoj tematici svrstana u tri osnova dela:

- I. PRIPREMNI DEO (poglavlja 1–4), posvećen je teorijsko-metodološkim pitanjima koja se odnose na: primenu principa aerodinamike u projektovanju automobila; aerodinamiku kroz istoriju automobilizma i solarne automobile u okviru razvoja automobilizma, kao i na projekat italijanskog nacionalnog tima *Onda Solare* na izradi solarnog automobila *Emilia 4* u kategoriji *Cruiser*;
- II. KREATIVNO-EKSPERIMENTALNI DEO (poglavlja 5–11), posvećen je svim kreativno-istraživačkim fazama mog rada na dizajnu solarnog automobila *Emilia 4* u kategoriji *Cruiser*;
- III. NOVO MOGUĆE DIZAJNERSKO REŠENJE ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA (poglavlja 12–15), posvećen je mojim naknadnim dizajnersko-umetničkim i akademskim istraživanjama u definisanju novog konceptualnog rešenja dizajna električnog automobila.

Izlaganja u svim poglavljima propraćena su i ilustrovana većim brojem slikovnih priloga u vidu fotografija, grafičkih 2D i 3D prikaza (vizuelizacija). Napomene o korišćenim izvorima i literaturi, uključujući i vebografiju, date su na kraju svakog poglavlja jer bi njihovo navođenje unutar poglavlja znatno remetilo strukturu stranica sa slikovnim priložima. Završni deo rada čine *Zaključna razmatranja – umetničko-istraživački doprinos*, a navedeni su i *Izvori i literatura*. Priložena su četiri dokumenta (*Prilozi 1–4*), koji se odnose na moju naučnu stipendiju, studijski boravak na Univerzitetu u Bolonji i saradnju sa multidisciplinarnim timom *Onda Solare*, kao i *Biografski podaci*.

## **I. PRIPREMNI DEO**

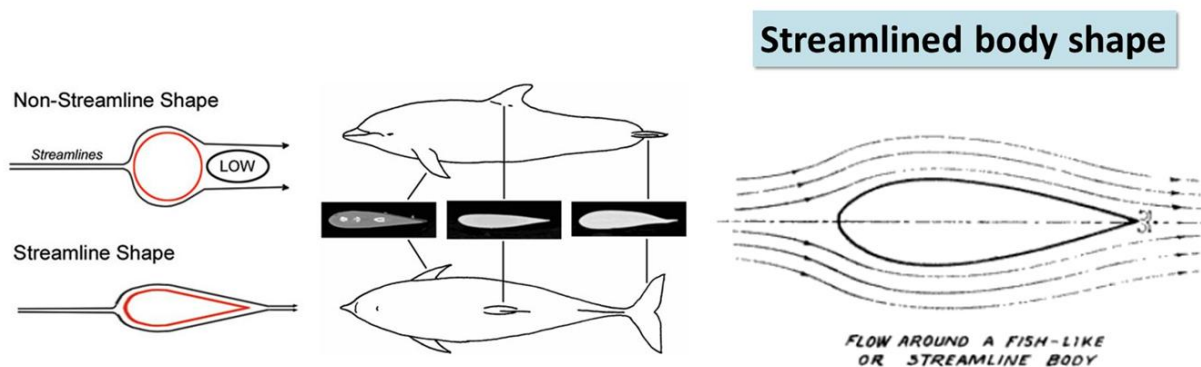
# 1. PRIMENA PRINCIPA AERODINAMIKE U PROJEKTOVANJU AUTOMOBILA

## 1.1. Pojam i metode istraživanja aerodinamike

*Aerodinamika* (od grč. od grč. ἀήρ, aēr, aéros, „vazduh“, i δύναμις, *dynamis*, „sila“) je nauka koja se bavi kretanjem vazduha u odnosu na čvrsta tela.<sup>1</sup> Kretanje tela kroz vazduh i tečnost izučava se u mehanici fluida. U aerodinamici se koriste analitičke i eksperimentalne metode istraživanja i razvoja. One se međusobno prepliću, dopunjavaju i ispomažu. Razvijene su snažne metode matematičke simulacije strujanja vazduha u različitim uslovima brzine, gustine i temperature, sa pratećim fenomenima. U prošlosti je jedan od prioritetnijih zadataka numeričke aerodinamike bilo iznalaženje metodologije proračuna aerodinamičke sile koja deluje na telo pri njegovom kretanju kroz vazduh.

## 1.2. Aerodinamična i hidrodinamična tela u prirodi

Aerodinamično ili hidrodinamično telo (*Streamlined Body*) je oblik koji smanjuje silu trenja između fluida (vazduha i vode) i objekta koji se kreće kroz određeni fluid. Koeficijent otpora vazduha (*Drag koeficient*) je sila koja usporava kretanje objekta; sila trenjem je posebna vrsta sile otpora. Do njega dolazi kada se određeni fluid (vazduh ili voda), najbliži samom objektu, prilepi na njegovu površinu primenjujući silu koja se suprotstavlja kretanju objekta. Mnoge životinje (poput ptica i delfina) i mnoge mašine (kao što su avioni i podmornice) imaju optimizovan oblik svojih tela kako bi umanjili koeficijent otpora dok se kreću kroz vazduh ili vodu (vid. sliku 1).<sup>2</sup>

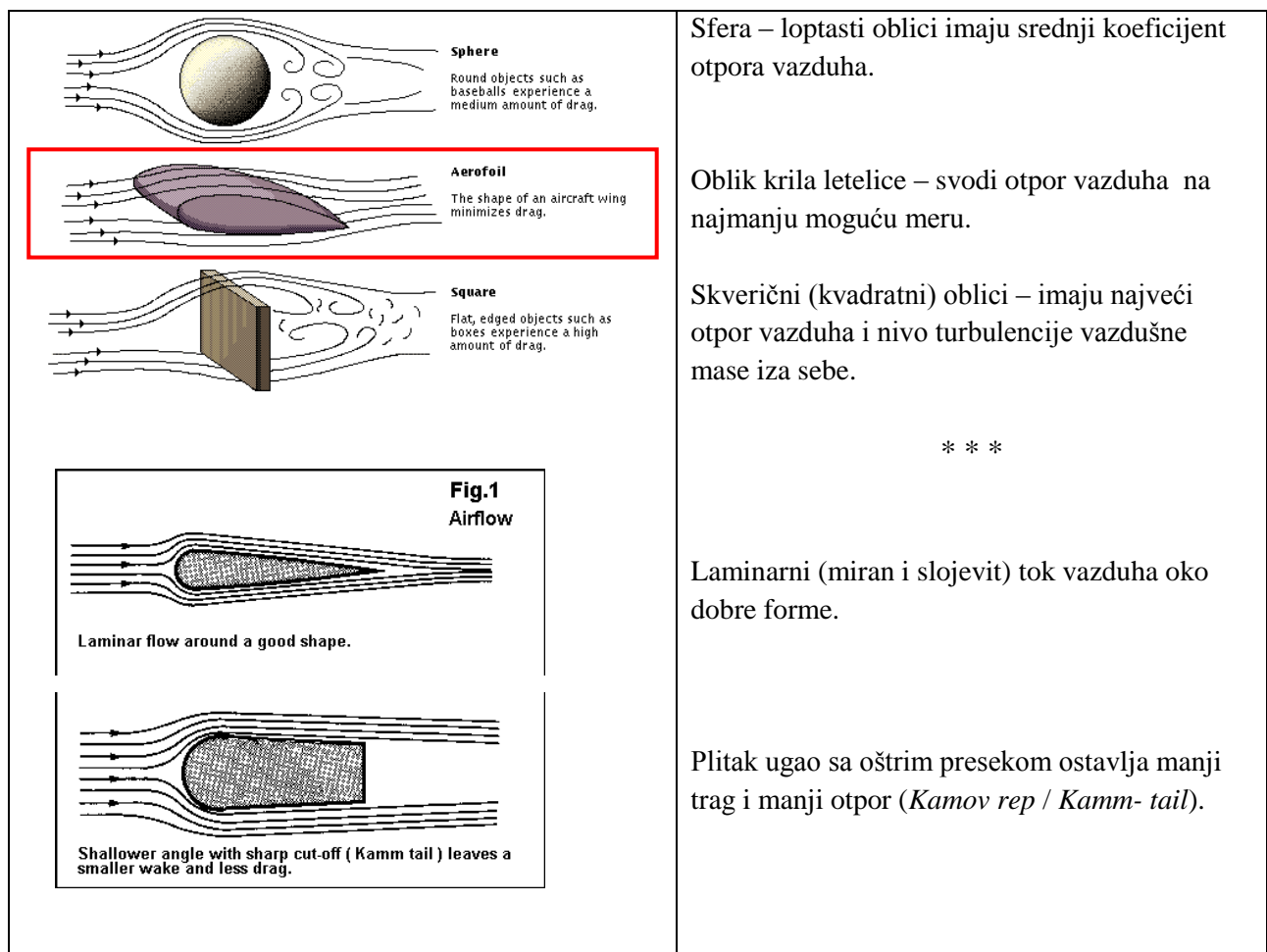


Sl. 1. Prikaz prirodnih zakonitosti strujanja vode oko hidrodinamičnog oblika tela riba

Vodne životinje poput većine riba, ajkula, delfina i kitova imaju prirodan hidrodinamičan oblik tela, koji smanjuje otpor vodene mase i omogućavaju im da se brže kreću kroz vodu. Proučavanje ovakvih prirodnih zakonitosti i odnosa poslužilo je kao temelj za inženjerska istraživanja u industriji vojnih i putničkih aviona i u automobilske industriji. Oblik tela delfina vremenom je pretočen u matematičku proračunatu grafičku krivu, koja je poslužila kao osnov za dalja istraživanja u oblasti konstrukcije i dizajna optimalnih oblika i preseka avionskih krila, a kasnije i za najrazličitije letelice. Prvobitno eksperimentalnim putem, a u novije vreme i kompjuterskim *Computer Fluid Dinamics (CFD)* simulacijama, uočene su i definisane zone visokog i niskog pritiska u odnosu na referentno telo. Takođe su ustanovljene zone ubrzanja i usporenja pritiska fluida, kao i zone graničnog sloja.

### 1.3. Aerodinamika različitih bazičnih oblika

Aerodinamika različitih bazičnih oblika iskazana je u sledećim prikazima (vid. sliku 2).<sup>3</sup>

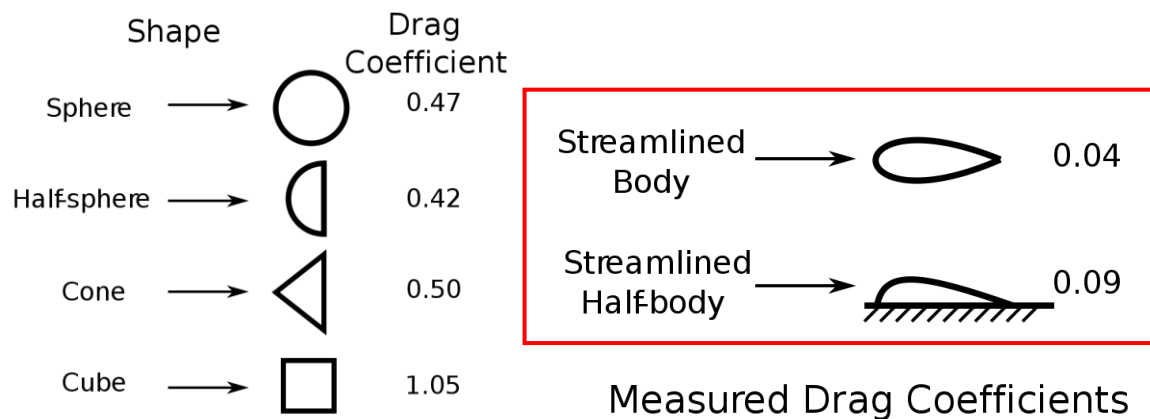


Sl. 2. Prikaz aerodinamike različitih bazičnih oblika i vektorski prikaz efekta opstrujavanja vazduha oko modifikovanih oblika

## 1.4. Naučno-eksperimentalni primeri aerodinamike različnih bazičnih oblika

Naučno-eksperimentalnim metodama došlo se do sledećih vrednosti koeficijenta otpora vazduha (*Drag Coefficient – Cd*) kod različitih bazičnih oblika (vid. sliku 3):<sup>4</sup>

- a) aerodinamično telo (*Streamlined Body*) ima najmanji koeficijent otpora vazduha 0,04;
- b) aerodinamično polu-telo (*Streamlined Half-body*) ima koeficijent otpora vazduha 0,09.



Sl. 3. Izmereni koeficijenti otpora kod različitih bazičnih oblika

## 1.5. NACA profili (*NACA airfoils*)

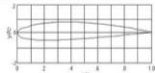
Terminom NACA profili (*NACA airfoils*) označavaju se različiti oblici (preciznije: poprečni preseči) krila aviona i drugih letelica koje je razvio američki Nacionalni savetodavni komitet za vazduhoplovstvo (*National Advisory Committee for Aeronautics – NACA*). Oblik krila opisan je upotrebom niza cifara iza reči *NACA*. Parametri u numeričkom kodu mogu se uneti u jednačine kako bi se precizno stvorio presek krila i izračunala njegova svojstva. Veliki broj profila je istražen, testiran i usvojen tokom razvoja avionske vojne i putničke industrije od 1908. pa sve do 1944. godine.<sup>5</sup> Korišćenjem određenog NACA profila avionsko krilo usmerava silu trenja vazdušne mase oko profila tako što ili ubrzava samo telo ili u određenom momentu, kada je to potrebno, podiže telo krila letelice u vazduh (*up-force*), zavisno od lokalne tačke statičkog pritiska (vid. sliku 4).

## Airfoil types

NACA airfoils  
National Advisory Committee for Aeronautics

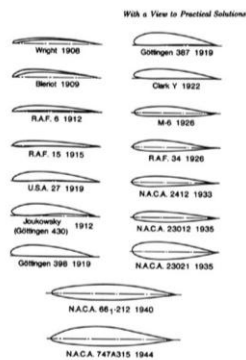
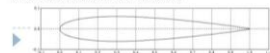
### NACA 2412

maximum camber of 2% located 40% from the leading edge with a maximum thickness of 12% of the chord

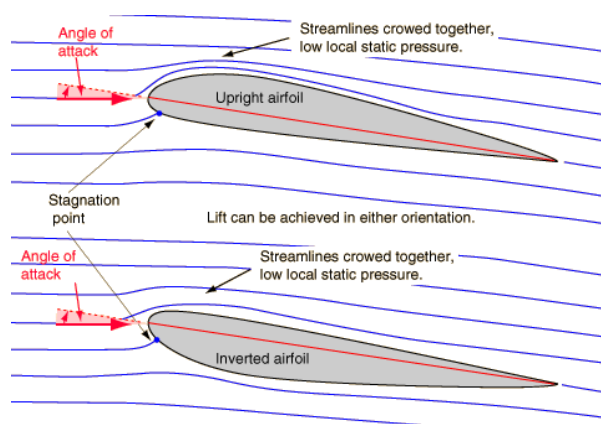


### NACA 0012

symmetrical airfoil, 00 indicating no camber. 12 indicates that the airfoil has a 12% thickness to chord



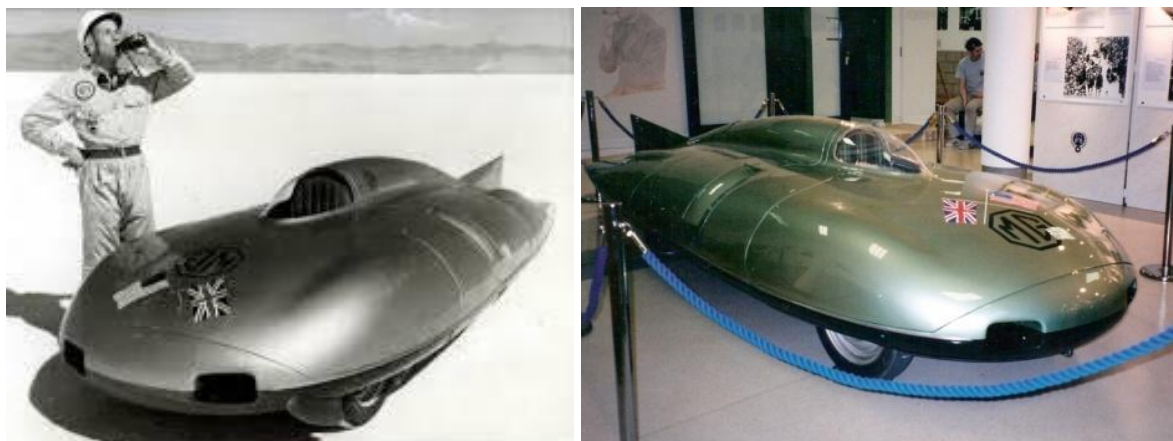
The historical evolution of airfoil sections, 1909-1944. The last two shapes (NACA 0012 and NACA 2412) are low drag sections designed to have laminar flow over 60 to 70 percent of chord on both the upper and the lower surfaces. Note that the laminar flow sections are thickest near the center of their chords.



Sl. 4. Parametri u numeričkom kodu NACA profila (NACA airfoils): down-force, up-force

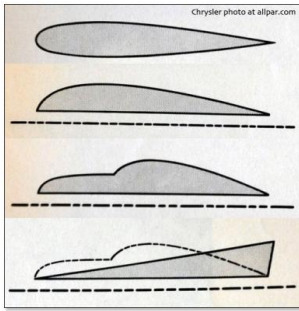
## 1.6. Primeri originalnog dizajna automobila konstruisanih po principu NACA profila

Legendarni engleski vozač kompanije *M.G. Car Company Limited* Goldie Gardner (Goldie Gardner) koristio je 1951. godine poseban aerodinamični turbo-dizel automobil (*MG streamliner*) označen kao *MG EKS-135* (vid. sliku 5), koji je bio konstruisanih po principu NACA profila. Tim automobilom je na najpoznatijoj ravnoj površini na svetu (dno isušenog slanog jezera) u američkoj saveznoj država Juta (*Utah's Bonneville Salt Flats*) postigao šest međunarodnih i 10 američkih rekorda u brzini, a prosečne brzine iznosile su oko 224 km/h.



Sl. 5. Goldie Gardner i njegov aerodinamični turbo-dizel automobil *MG EKS-135* (1951)

Automobil *Porsche 911* iz 1964. godine imao je oblik uzdužno presečene suze (*Streamlined Half-body*), sa izrazitim aerodinamičkim efektom (vid. sliku 6). Oblik suze zapravo je bila ideja vodilja osnivača ove firme Ferdinanda Poršea (Ferdinand Porsche).



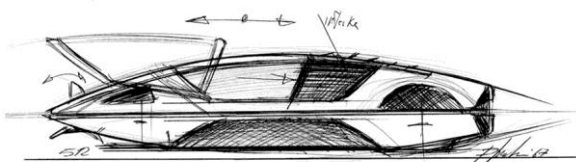
Sl. 6. Automobil *Porsche 911* (1964)

Potpuno isti aerodinamički pristup konstruisanju primenjen je tokom svih kasnijih generacija automobila *Porsche 911*, sve do najnovijeg modela *911 Turbo S* iz 2020. godine (vid. sliku 7). Sa takvom nadvremenskom formom, automobil *Porsche 911* predstavlja ikonu moderne automobilske industrije.



Sl. 7. Automobil *Porsche 911 Turbo S* (2020)

Jedan od najviše uvažavanih konceptualnih automobila u savremenoj automobilskoj industriji jeste čuveni super-sportski *Ferrari Modulo 512 S* iz 1970. godine, sa prekrivenim točkovima. Ručno ga je izradio dizajner Paolo Martin sa timom dizajnerskog studija *Pininfarina* iz Torina uvažavajući principe NACA profila (vid. sliku 8). Odlikuje se izrazitom aerodinamičnom linijom, sa zaoštrenim frontalnim delom.



Sl. 8. Konceptualni automobil *Ferrari Modulo 512 S* (1970)

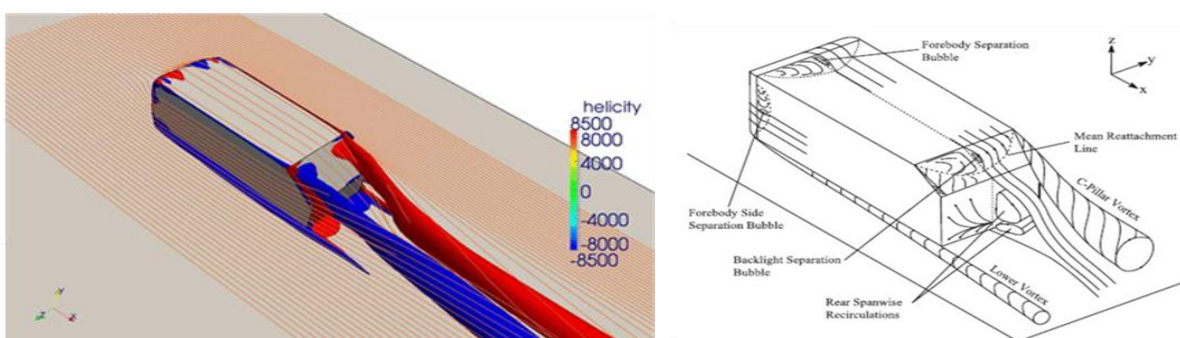
## 1.7. Ahmedovo telo (Ahmed Body)

*Ahmedovo telo (Ahmed Body)* je generičko telo automobila (pojednostavljeni model vozila). Osnovne karakteristike protoka vazduha oko *Ahmedovog tela* (kao glavnog volumena budućeg automobila) prvi put su definisane 1984. godine u eksperimentalnom istraživačkom radu S. R. Ahmeda, po kome je i nastao naziv ovog tela (vid. sliku 9). Iako ima veoma jednostavan oblik, *Ahmedovo telo* omogućava da se identifikuju karakteristične vrednosti koje su relevantne za konstrukciju i dizajn automobila. Ovaj se model takođe koristi za opisivanje protoka turbulentnog polja vazдушnih masa oko geometrijskog oblika nalik automobilu. Kada je ovaj numerički model bio potvrđen i usvojen u standardima automobilske industrije, počeo je da se koristi kao osnova za dizajniranje novih modela automobila, što je praksa i danas.<sup>6</sup>



Sl. 9. Protok vazduha oko fizičkog modela *Ahmedovog tela* i kompjuterska 3D simulacija

Savremena 3D kompjuterska simulacija *Computer Fluid Dynamics (CFD)* u specijalizovanim softverima (*Ansys Fluent*) grafički prikazuje proračun kretanja vazдушnih struja (strujnica) oko *Ahmedovog tela* i stvaranja mogućih zona turbulencije – vorteksa (kovitlanja) vazduha neposredno iza vozila (vid. sliku 10).

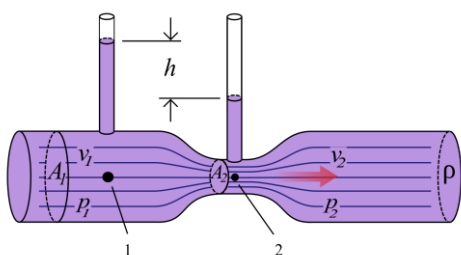


Sl. 10. Vektorski prikazi kretanja vazдушnih struja (strujnica) oko *Ahmedovog tela*

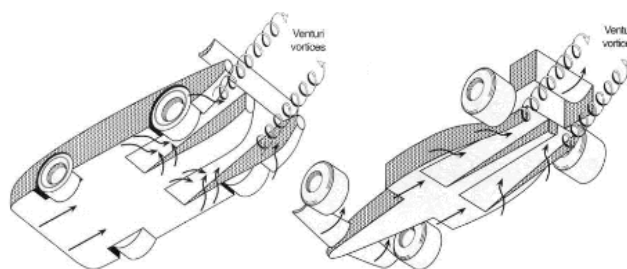


## 1.8. Venturi efekat - Venturijev tunel

Venturi efekat je dobio naziv po pronalazaču Đovaniju Batista Venturi (Giovanni Battista Venturi). To je efekat smanjenja pritiska fluida koji nastaje kada fluid prolazi kroz suženi deo (prigušnicu) cevi (vid. sliku 11). Kao što se vidi na priloženoj slici, statički pritisak u prvoj, široj cevi veći je nego u drugoj, užoj cevi, a brzina fluida na tački „1“ niža je od brzine na tački „2“. To je fizička zakonitost koja je bazirana na principu obrnutog oblika avionskog krila.<sup>7</sup> Po tom principu isprojektovani su tunel (tzv. *Venturijev tunel*) i zadnji difuzori, koji predstavljaju karakteristične elemente podvozja trkačkih automobila iz kategorije *24 časa Le Mana* i *Formule 1* (vid. sliku 12).

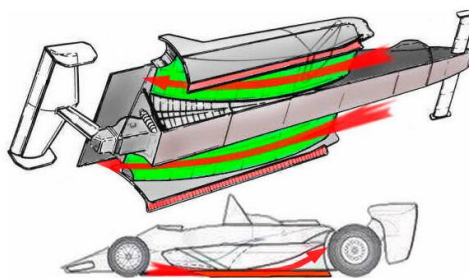
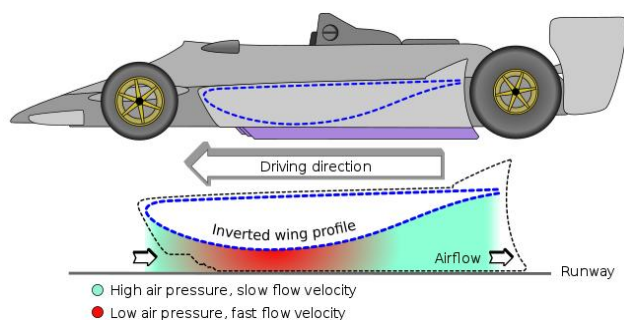


Sl. 11. Venturi efekat



Sl. 12. *Venturijev tunel* i difuzori kod trkačkih automobila

Prema tome, u dizajniranju podvozja trkačkih automobila primenjuje se invertovani oblik avionskog krila (NACA profila) da bi se postigao venturi efekat (vid. sliku 13).



Sl. 13. Invertovani oblik NACA profila u podvozju trkačkog automobila: zeleno – visok pritisak vazdušne mase, manja brzina protoka; crveno – nizak pritisak vazdušne mase, veća brzina protoka

## Napomene

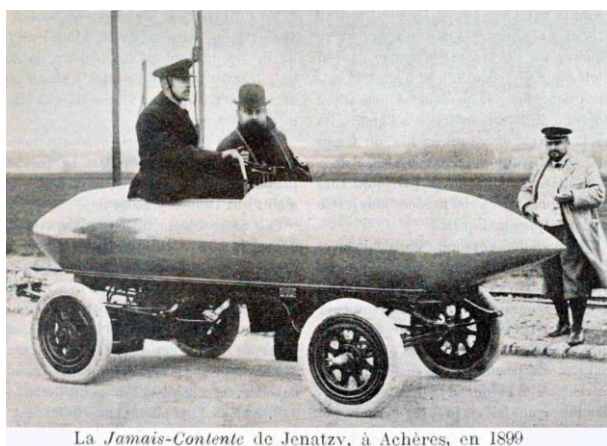
1. a) Krasnov, N.F. 1986. *Aerodynamics: Fundamentals of Theory. Aerodynamics of an Airfoil and Wing. Methods of Aerodynamic Calculation Hardcover. April 1* (eBook).  
b) Kueth, Arnold M. and Chuen-Yen Chow. *Foundations of Aerodynamics: Bases of Aerodynamic Design*. 5th ed. (eBook).  
c) *Aerodynamics*. From Wikipedia, the free encyclopedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Aerodynamics> (pristup: 04. 10. 2015).
2. a) *Streamlined Body*:  
<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/streamlined-body> (pristup: 15. 10. 2015).  
b) *Streamlining*. The Free Dictionary. By Farlex:  
<https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/streamlining> (pristup: 07. 09. 2015).  
c) *Use of a Drag Coefficient to Calculate Drag Force due to Fluid Flow past an Immersed Solid*:  
<https://www.brighthubengineering.com/hydraulics-civil-engineering/58434-drag-force-for-fluid-flow-past-an-immersed-object/> (pristup: 23. 09. 2015).  
d) *The drag coefficient of an object in a moving fluid influence drag force* *Engineering ToolBox - Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications*:  
[https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d\\_627.html](https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.html)  
(pristup: 16. 11. 2015).
3. a) *Aerodynamics. Tony Foale 1986–1997*: <https://motochassis.com/Articles/Aerodynamics/AERO.htm>  
(pristup: 12. 08. 2020).
4. *Pressure drag: a factor of shape Aerodynamics: Lesson 6 The shape coefficient is a Factor*:  
<https://www.presticebdt.com/aerodynamics-lesson-6-the-shape-is-a-factor-for-drag/> (pristup: 18. 11. 2015).
5. a) *NACA Airfoils*. <https://www.nasa.gov/image-feature/langley/100/naca-airfoils> (pristup: 29. 02. 2016).  
b) *NACA airfoils*. From Wikipedia, the free encyclopedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/NACA\\_airfoil](https://en.wikipedia.org/wiki/NACA_airfoil)  
(pristup: 23. 02. 2016).
6. a) Meile, W. *Experiments and Numerical Simulations on the Aerodynamics of the Ahmed Body* (eBook).  
b) S. R. Ahmed, G. Ramm. 1984. *Some Salient Features of the Time-Averaged Ground Vehicle Wake*, SAE-Paper 840300. Troy (MI, SAD): SAE international, SAE Mobilus.  
c) *Aerodynamics: Flow around the Ahmed Body*:  
<https://www.simscale.com/docs/validation-cases/aerodynamics-flow-around-the-ahmed-body/>  
(pristup: 02. 03. 2016).  
d) *CFD – online Ahmed body Brief Description*. From Wikipedia, the free encyclopedia: [https://www.cfd-online.com/Wiki/Ahmed\\_body](https://www.cfd-online.com/Wiki/Ahmed_body) (pristup: 12. 03. 2016).  
e) *Studying the Airflow Over a Car Using an Ahmed Body*, by Brianne Christopher:  
<https://www.comsol.com/blogs/studying-the-airflow-over-a-car-using-an-ahmed-body/>  
(pristup: 13. 03. 2016).
7. a) *Exploring the Venturi Effect*. By Caty Fairclough: <https://www.comsol.com/blogs/exploring-the-venturi-effect/> (pristup: 18. 01. 2016); b) *Ground effect*: [http://www.formula1-dictionary.net/ground\\_effect.html](http://www.formula1-dictionary.net/ground_effect.html) (pristup: 18. 01. 2016); c) *Lotus Modell 79 wing-profile*:  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lotus\\_Modell\\_79\\_wing-profile.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lotus_Modell_79_wing-profile.svg) (pristup: 18. 01. 2016);  
d) *Car Aerodynamics Basics and How-To Design Tips. Aerodynamic Principles*:  
<https://www.buildyourownracecar.com/race-car-aerodynamics-basics-and-design/2/> (pristup: 18. 01. 2016).

## 2. AERODINAMIKA KROZ ISTORIJU AUTOMOBILIZMA

### 2.1. Rani pokušaji kreiranja aerodinamičnog automobila

Tokom razvoja automobilske industrije postojala je stalna težnja da se automobili kreću što je moguće brže. Tako su u početku projektovana vozila koja su izgledala kao neka torpeda (projektili) na točkovima, u koja se tesno mogao smestiti samo jedan vozač. U automobilu *La Jamais Contente* takvog aerodinamičnog oblika Belgijanac Kamil Šenaci (Camille Jenatzy) postavio je 29. aprila 1899. godine svetski brzinski rekord probivši barijeru od 100 km/h (105,88 km/h).<sup>1</sup> To je ujedno bio poslednji brzinski rekord automobila koji pokreće elektromotor (vid. sliku 14). Posle toga brzinske rekorde držala su vozila pokretana parom ili motorima sa unutrašnjim sagorevanjem (SUS), a od 1963. godine vozila koja koriste mlazne motore.

Italijan Marko Rikoti (Marco Ricotti) dizajnirao je 1914. godine za radionicu *Carrozzeria Castagna* automobil *A.L.F.A. 40/60 HP Aerodinamica*, sa izraženim aerodinamičnim linijama (vid. sliku 15).<sup>2</sup> Zahvaljujući obliku razvučene kapi vode (suze), ovaj neobični prototip automobila bio je u stanju da postigne maksimalnu brzinu od 139 km/h. Nastao je na bazi drumskog i trkačkog automobila *A.L.F.A. 40/60 HP*, iz koga će se kasnije razviti proizvodi sportski nastrojenih automobila poznate firme *Alfa Romeo*.



La Jamais-Contente de Jenatzy, à Achères, en 1899

Sl. 14. Automobil Kamila Šenacija (1899)



Sl. 15. Automobil Marka Rikotija (1914)

## 2.2. Prvi aerodinamički projektovani automobili

Inženjer Paul Jaraj (Járay Pál), mađarsko-jevrejskog porekla, aktivno se bavio aerodinamikom u bilo kojem obliku počev od 1912. godine. Konstruisao je, između ostalog, i dirizable. Ipak, najpoznatiji je po tome što je uneo revoluciju u dizajniranje automobila. Berlinskoj kancelariji za pronalazke podneo je 8. septembra 1921. godine zahtev za registrovanje patenta kojim je definisan njegov radni prototip aerodinamičnog automobila.

Godinu dana kasnije (1922), kao plod Jarajeve saradnje sa Alfredom Lejom (Alfred Ley) iz firme *Rud. Lei Maschinenfabrik A.-G.* pojavio se prvi aerodinamični automobil na svetu: *Ley T6* (vid. sliku 16).<sup>3</sup> U skladu sa Jarajevim racionalizovanim principima, automobil je mogao dostići brzinu veću od 100 km/h (62 mph / milja) koristeći četvoro cilindrični 1,5-litarski motor sa samo 20 KS (konjskih snaga). Izračunato je: kada bi se koristila do tada uobičajena karoserija, maksimalna brzina automobila ne bi prešla 70–75 km/h (40–45 mph).



Sl. 16. Prvi aerodinamični automobil *Ley T6* (1922), koji je dizajnirao Paul Jaraj sa Alfredom Lejom

## 2.3. Streamline Style / Design („Aerodinamički stil“)

Period između dva svetska rata doneo je brze industrijsko-tehnološke promene u celom svetu. Čuvena Pariska izložba iz 1925. godine, naslovljena kao *Exposition Internationale des Arts Décoratifs et Industriels Modernes* („Međunarodna izložba dekorativne i moderne industrijske umetnosti“), podstakla je razvijanje pokreta *Art Deco*, koji se ubrzo proširio iz Evrope i na Sjedinjenjene Američke Države. Izražavajući se uglavnom u vizuelnim i dekorativnim umetničkim disciplinama (kao što su arhitektura i industrijski dizajn), pokret *Art Deco* je našao primenu i u dizajniranju automobila – u varijanti pod nazivom *Streamline Style/Design* („Aerodinamički

stil/dizajn“).<sup>4</sup> U periodu 1920–1935. godine nastupila je prava plima inovacija u dizajniranju aerodinamički konstruisanih automobila. Sve te veoma komplikovane organske forme karoserije izrađivane su ručno i kao takve predstavljaju prava istorijska remek-dela dizajna (vid. slike 17 i 18).



Sl. 17. Auburn V12 Boattail Speedster (1932) Sl. 18. Schlörwagen – Göttinger Egg, Pillbug (1936)

#### 2.4. Bio-dizajn u automobilizmu – Luidi Kolani

Poslednjih decenija XX veka Luidi Kolani (Luigi/Lutz Colani, 1928–2019) uživao je reputaciju svestranog i veoma nadahnutog dizajnera. On je definisao pojam *bio-dizajn* ističući da su biodinamične forme ergonomski superiornije u odnosu na dotadašnji tradicionalni način projektovanja i dizajniranja proizvoda.<sup>5</sup> Inspiraciju za forme svojih vozila (automobila, letelica, kamiona, motocikala) Kolani je crpao iz sveta flore i faune, a prepoznatljiv je po ribolikim formama (vid. slike 19 i 20).



Sl. 19. Kolanijev dizajn automobila, letelica i kamiona



Sl. 20. Kolanijev dizajn kamiona za kompaniju *Mercedes-Benz*

## 2.5. Prevođenje principa dinamike fluida iz prirode u dizajn vozila i letelica

Istraživači su uočili prirodni princip protoka vode (fluida) kroz telo i oko tela ajkule: vodena masa i molekuli kiseonika ulaze kroz čeljusti ajkule, a izlaze kroz škrge za disanje (vid. sliku 21).



Sl. 21. Prikaz ulaska vodene mase i molekula kiseonika kroz čeljusti ajkule i izlaska kroz škrge ajkule

Ovaj princip hidronamike (dinamike fluida) ima analognu primenu u dizajnu super-sportskih automobila: veliki frontalni otvori (usisnici) za vazduh imaju funkciju da što efikasnije sprovedu vazdušne mase oko automobila i da ujedno dopremaju vazduh za hlađenje motornog prostora i za usisavanje u motor (koji se nalazi u prednjem ili u zadnjem delu vozila). To se vidi kod različitih modela automobila marke *Ferrari* (vid. sliku 22).



Sl. 22. Protok vazduha kroz karoseriju i oko karoserije kod različitih modela automobila *Ferrari*

*Manta Ray* je okeanska vrsta gigantske raže. Njen neobičan prirodni oblik (hidrodinamična, izrazito tanka silueta) prati veoma mali otpor pri kretanju kroz gustu vodenu masu (vid. sliku 23).



Sl. 23. Hidrodinamičan oblik okeanske gigantske raže *Manta Ray*

Princip dinamike fluida koji je zastupljen kod gigantske raže *Manta Ray* primenjen je u konstrukcijama nekih letelica u savremenoj vojnoj avionskoj industriji, kao što je američki vojni avion *B-2 Spirit*, koji je uveden u upotrebu 1997. godine (vid. sliku 24).



Sl. 24. Oblik američkog vojnog aviona *B-2 Spirit* (1997)

Oblik tela morske raže predstavlja u suštini najekstremniji pljosnati oblik izdužene kapi vode (suze). Istraživanja hidrodinamičnih osobina tela morske raže i pratećih principa dinamike fluida ukazala su na mogućnost da ti principi budu primenjeni i u procesu projektovanja i konstruisanja solarnih trkačkih automobila (vid. sliku 25).



Sl. 25. Solarni automobili: GM SunRacer (1987), Honda Draem I (1993), Honda Draem II (1996).

## Napomene

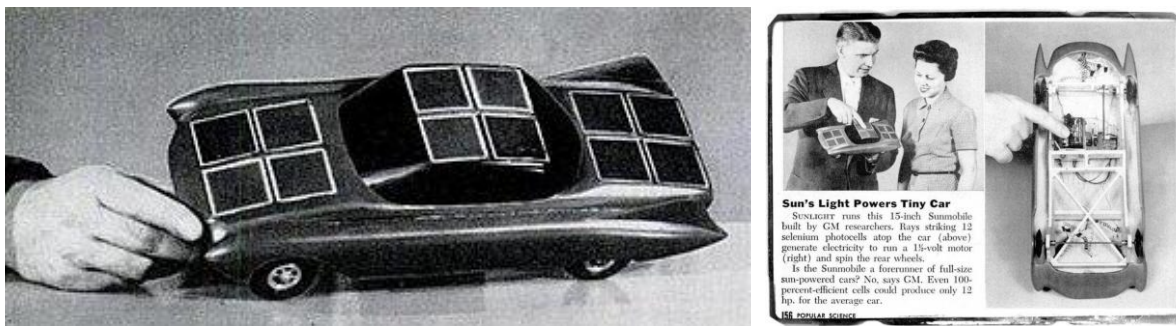
1. a) [https://en.wikipedia.org/wiki/La\\_Jamais\\_Contente](https://en.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_Contente) (pristup: 16. 01. 2016).  
 b) <https://www.conceptcarz.com/vehicle/z17970/la-jamais-contente.aspx> (pristup: 16. 01. 2016).  
 c) [https://www.researchgate.net/figure/La-Jamais-Contente-1-1899-Camille-Jenatzy-first-10588km-h-electric-1450kg-where\\_fig8\\_267243722/download](https://www.researchgate.net/figure/La-Jamais-Contente-1-1899-Camille-Jenatzy-first-10588km-h-electric-1450kg-where_fig8_267243722/download) (pristup: 16. 01. 2016).
2. a) Bellu, Serge. 2002. *500 Fantastic Cars. A Century of the World's Concept Cars*. Paris (France): Éditions Solar.  
 b) [https://en.wikipedia.org/wiki/ALFA\\_40/60\\_HP](https://en.wikipedia.org/wiki/ALFA_40/60_HP) (pristup: 18. 01. 2016).
3. a) <https://www.carolenash.com/news/classic-car-news/detail/designer-day-paul-jaray> (pristup: 16. 01. 2016).  
 b) [https://en.wikipedia.org/wiki/Paul\\_Jaray](https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Jaray) (pristup: 17. 01. 2016).  
 c) <https://tcct.com/news/2020/05/1921-paul-jaray-and-his-airships-on-four-wheels/> (pristup: 17. 01. 2016).  
 d) <https://www.hemmings.com/stories/article/paul-jaray> (pristup: 20. 01. 2016).  
 e) <https://laughingsquid.com/the-1914-aerodinamica-prototype-an-early-aerodynamic-car> (pristup: 16. 01. 2016).
4. a) <https://www.autoevolution.com/news/the-origins-of-streamline-design-in-cars-2998.html> (pristup: 17. 01. 2016).  
 b) <http://www.thewestologist.com/architecture-and-design/spot-a-style-streamline-moderne> (pristup: 18. 01. 2016).
5. a) Bell, Jonathan. 2003. *Concept Car Design. Driving The Dream*. Mies (Switzerland): A RotoVision Book.  
 b) [https://en.wikipedia.org/wiki/Luigi\\_Colani](https://en.wikipedia.org/wiki/Luigi_Colani) (pristup: 19. 01. 2016).  
 c) <https://www.nytimes.com/2019/09/18/arts/design/luigi-colani-dead.html> (pristup: 19. 01. 2016).



### 3. SOLARNI AUTOMOBILI U OKVIRU RAZVOJA AUTOMOBILIZMA

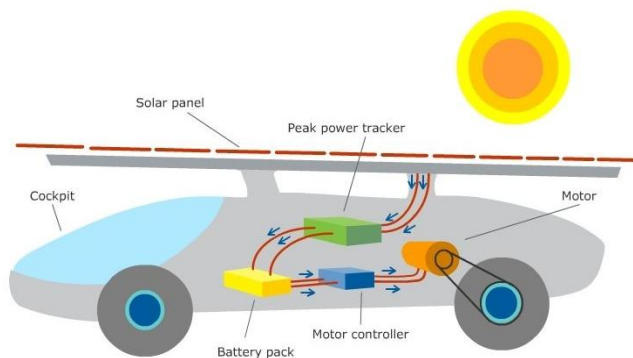
#### 3.1. Pojava automobila na električni pogon solarnog porekla – solarni automobili

Razvoj automobilske industrije u periodu posle Drugog svetskog rata doneo je još jednu novinu: pojavu automobila na električni pogon solarnog porekla – solarnih automobila. Prvi model solarnog automobila kreirao je Vilijem Dž. Kob (Villiam G. Cobb), radnik u najvećeg američkoj kompaniji za proizvodnju automobila *General Motors (GM)*. Model je nazvan *SunMobil*, a imao je dužinu od svega 15 inča (38 cm). Premijerno je prikazan 1955. godine na salonu automobila *General Motors car show* u Čikagu. Imao je 12 fotonaponskih (PV – *photovoltaic*) ćelija na bazi selena i mali elektromotor (vid. sliku 26).<sup>1</sup> Izrada takmičarskih solarnh automobila ima danas za sobom tradiciju od nekoliko decenija.



Sl. 26. Model solarnog automobila *SunMobil* iz 1955. godine

Savremeni modeli solarnih automobila koriste baterije velikog kapaciteta koje omogućavaju da se solarna energija konvertuje u električnu energiju koja je dovoljna za pogon ove vrste automobila. Stoga solarni automobil mora da poseduje solarne panele za ponovno napajanje (dopunjavanje) baterija, kao i za pokretanje pomoćnih sistema u automobilu koji koriste uglavnom energiju iz baterija (vid. sliku 27).<sup>2</sup>



© 2007-2010 The University of Waikato | www.sciencelearn.org.nz

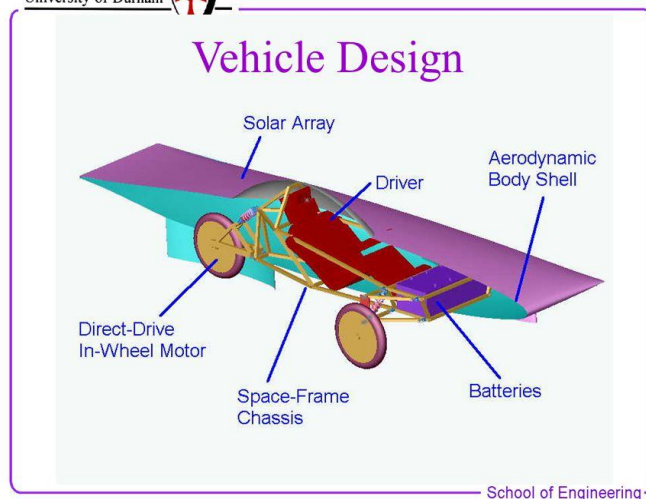
Sl. 27. Grafički prikaz sistema funkcionisanja solarnog automobila<sup>3</sup>

Kod solarnih automobila kombinovano je primenjena tehnologija koja se obično koristi u vazduhoplovnoj, biciklističkoj, alternativnoj energetske i automobilske industriji. Dizajn solarnog vozila strogo je zavisano od količine unosa energije u automobil. Većina solarnih automobila do sada je pravljena za takmičenja (trke) solarnih automobila, koja se održavaju na raznim kontinentima, i to i na područjima gde ima dosta sunčanih dana tokom većeg dela godine. Pored osnovne namene – za takmičenja u izdržljivosti i bezbednosti na dugim stazama – neki prototipovi solarnih automobila imaju dizajn koji je prilagođen i potencijalnoj upotrebi tih vozila u javnom saobraćaju. Ipak, za sada na slobodnom tržištu ne postoji ponuda solarnih automobila komercijalnog karaktera.

### **3.2. Bazična konstrukcija solarnog automobila**

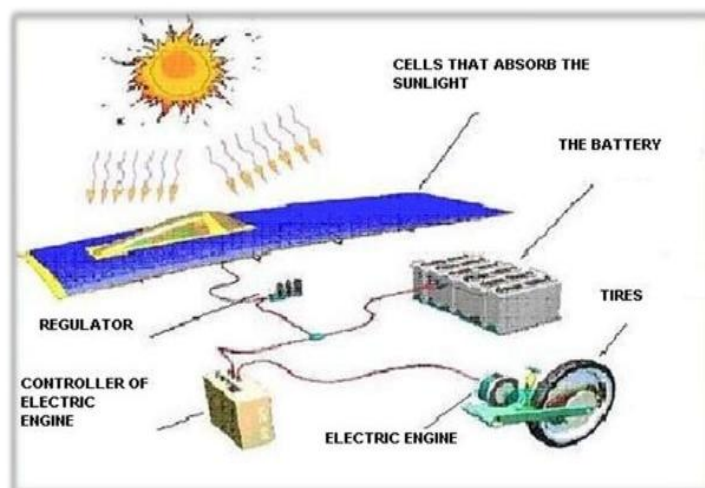
Bazičnu konstrukciju solarnog automobila čini cevasti metalni ram, tj. metalna samonoseća šasija. Za izradu samonosećih šasija u novije vreme koriste se kompozitni materijali kao što su ugljenična (karbonska) vlakna – *carbon fibre*. U opotrebi su i drugi materijali, poput poliesterskih smeša. Na samonoseću šasiju pričvršćuju se elementi (vid. sliku 28):<sup>4</sup>

- mehaničko-kinetički sklopovi;
- solarni paneli sa fotonaponskim ćelijama;
- upravljački mehanizam automobila;
- točkovi (uglavnom sa veoma tankim gumama i laganim felnama od kompozitnih materijala);
- elektromotori koji pokreću točkove;
- kočioni sistem;
- elektronske i elektrotehničke komponente (konvertori i naponski kablovi);
- baterije koje se pakuju prema određenim dimenzijama (paketi baterija);
- sedišta za putnike u vozilu (od 1 do 4, zavisino od takmičarske kategorije/klase automobila).



Sl. 28. Šematski prikaz bazične konstrukcije solarnog automobila<sup>5</sup>

Funkcionisanje solarnih automobila zavisi od solarnog niza koji koriste fotonaponske ćelije (*photovoltaic* – PV ćelije) za pretvaranje (konvertovanje) sunčeve svetlosti u električnu energiju. Za razliku od solarne toplotne energije, koja pretvara solarnu energiju u toplotnu, PV ćelije direktno pretvaraju sunčevu svetlost u električnu energiju. Kada sunčeva svetlost (fotoni) udari u PV ćelije, oni pobuđuju elektrone i omogućavaju im da se pokrenu – stvarajući direktno na taj način električnu struju (vid. sliku 29). PV ćelije su napravljene od poluprovodničkih materijala, kao što su silicijum i legure indijuma, galijuma i azota. Kristalni silicijum je najčešće korišćeni materijal jer ima najveću efikasnost u pretvaranju solarne energije u električnu.



Sl. 29. Sistem pretvaranja solarne energije u električnu kod solarnog automobila<sup>6</sup>

## Napomene

1. a) <https://gmauthority.com/blog/2014/08/go-back-to-future-in-1955-with-the-gm-sunmobile/> (pristup: 23. 01. 2016).  
b) <https://www.wikiwand.com/en/Sunmobile> (pristup: 23. 01. 2016).  
c) <https://www.autonews.com/article/20160830/CCHISTORY/160829860/gm-previews-promise-of-solar-power-with-sunmobile-model-car> (pristup: 24. 01. 2016).
2. Thacher, Eric Forsta. 2015. *A Solar Car Primer Guide to the Design and Construction of Solar-Powered Racing Vehicles*. Switzerland: Springer International Publishing (eBook).
3. <https://www.sciencelearn.org.nz/images/2182-solar-car-sketch> (pristup: 26. 01. 2016).
4. Carroll, Douglas R. 2003. *The Winning Solar Car: A Design Guide for Solar Race Car Teams*. Troy (Michigan, USA): Society of Automotive Engineers.
5. Durham University Solar-Powered Car – Power Point presentation. The Design of the Durham University Solar-Powered Car DUSC <https://slideplayer.com/slide/5157217/> (pristup: 26. 01. 2016).
6. <https://www.slideshare.net/9145899387/auto-speed-control-of-solar-car-at-specified-locations-like-school-zones-hospitals-residential-areas> (pristup: 27. 01. 2016).

## 4. PROJEKAT ITALIJANSKOG NACIONALNOG TIMA *ONDA SOLARE* NA IZRADI SOLARNOG AUTOMOBILA U KATEGORIJI *CRUISER*

### 4.1. Nastanak udruženja i nacionalnog takmičarskog tima *Onda Solare*

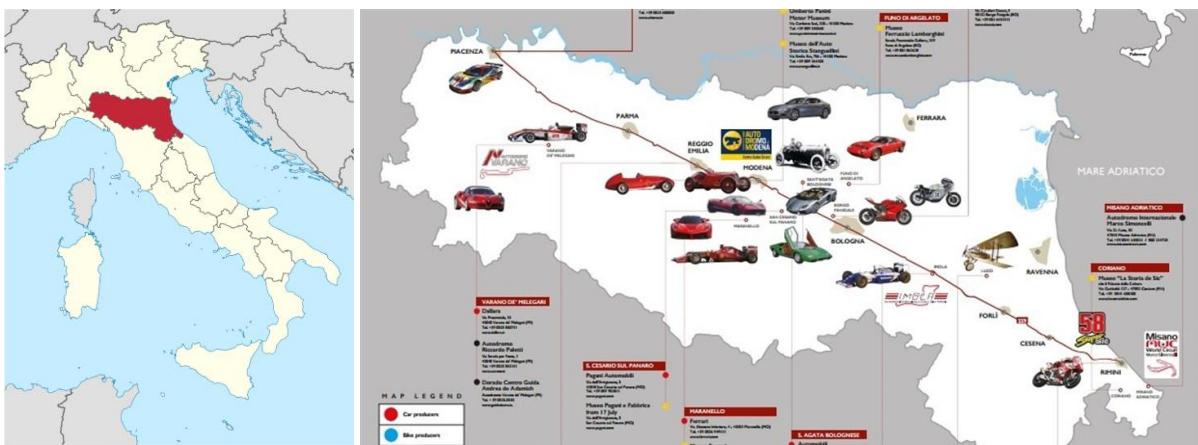
Aktivnost na razvoju prototipova solarnih automobila dobila je zamah od sredine 80-ih godina XX veka: ogromno interesovanje za to iskazali su mnogi univerziteti, javne institucije i specijalizovane proizvođačke firme u raznim delovima sveta. Takmičarski solarni automobili nastaju u realizaciji projekata timova nekoliko desetina istaknutih svetskih univerziteta i automobilskih korporacija, nakon dugih priprema i višednevnih testiranja u matičnim zemljama.

Tako se pojavila potreba da se i u Italiji osnuje udruženje koje bi se posvetilo dizajniranju, konstruisanju i izradi električnih automobila na solarni pogon, namenjenih svetskim takmičenjima solarnih automobila. Pod naučnim okriljem Univerziteta u Bolonji (ital. *Università di Bologna – UNIBO*; lat. *Universitas Bologniensis*) osnovano je 2005. godine udruženje istinskih entuzijasta pod simboličnim nazivom *Onda Solare* („Sunčev talas“). Broji oko 80 stalnih članova, a to su profesori, studenti i mladi istraživači sa različitih tehničkih smerova (departmana) Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Bolonji, gde je zapravo naučna baza ovog udruženja.<sup>1</sup> Pored toga, udruženje ima u svom sastavu i stručnjake iz istaknutih proizvođačkih firmi, kao što su italijanske kompanije *Ferrari* i *Metal T.I.G.*, a udruženje je otvoreno za sve, tako da ima stotine sledbenika i simpatizera (vid. sliku 30).



Sl. 30. Logotip udruženja *Onda Solare*

Nije nimalo slučajno to što je ovo udruženje nastalo u Bolonji, središtu visoko razvijene industrijske regije Emilija-Romanja (*Regione Emilia-Romagna*) u severnom delu Italije. Ova pokrajina predstavlja jedan od dva centra italijanske automobilske industrije, sa tradicijom dužom od jednog veka.<sup>2</sup> Dok je regija Pijemont (*Regione Piemonte*), sa središtem u Torinu, specijalizovana za proizvodnju automobila za svakodnevnu civilnu upotrebu, u regiji Emilija-Romanja nalaze se najpoznatiji svetski proizvođači super-sportskih automobila (kao i motocikala): Maserati (*Maserati*), Ferari (*Ferrari*), Pagani (*Pagani*), Lamborgini (*Lamborghini*) i Dukati (*Ducatti*) (vid. sliku 31).



Sl. 31. Raspored proizvođača super-sportskih automobila i motocikala u regiji Emilija-Romanja

Multidisciplinarni projektantski tim udruženja *Onda Solare* (profesori, konstruktori, inženjeri, menadžeri i drugi stručnjaci Univerzitetu u Bolonji, sa spoljnim saradnicima), uz svestranu podršku zvaničnih institucija regije Emilija-Romanja, projektovao je i izradio od 2005. do 2018. godine četiri prototipa solarnih automobila u različitim takmičarskim kategorijama (klasama), koji su nazvani po imenu matične regije, i to: *Emilia 1* (klasa: *Bike*), *Emilia 2* (klasa: *Adventure*), *Emilia 3* (klasa: *Challenger*) i *Emilia 4* (klasa: *Cruiser*). A u realizaciji ovih projekata, koji su trajali i po nekoliko godina, bilo je dragoceno učešće i stručnjaka iz različitih inženjerskih oblasti koji rade razvojnim odeljenjima kompanije *Ferrari* u gradiću Maranello (Maranello), blizu Modene. Sa navedenim solarnim automobilima tim *Onda Solare* nastupao je na svetskim takmičenjima solarnih automobila kao jedini predstavnik Italije, te mu je stoga ujedno pripala uloga italijanskog nacionalnog tima u ovoj vrsti takmičenja. Tako je i tretiran u italijanskoj javnosti.

#### 4.2. Izrada solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* – nov izazov pred timom *Onda Solare*

Solarni automobil *Emilia 4* proizveden je 2018. godine posle dvogodišnjeg izuzetno kreativnog rada na do tada najzahtevnijem projektu tima *Onda Solare*. Stručnjaci okupljeni u projektantskom timu prvi put su se suočili sa izazovom da izrade solarni automobil u kategoriji *Cruiser* („krstarica“) za četiri putnika, koji bi mogao da se ravnopravno nosi sa automobilima drugih renomiranih timova na takmičenjima solarnih automobila. Pri tome je tim *Onda Solare* imao obavezu da zadovolji stroge funkcionalno-tehničke zahteve (parametre) predviđene pravilnikom – iz 2015. godine – najstarijeg i najpoznatijeg takmičenja (trke) solarnih automobila koje se pod nazivom *World Solar Challenge* (skraćeno: *WSC* / „Svetski solarni izazov“) održava Australiji, počev od 1987. godine.<sup>3</sup> Ovo takmičenje, u tri kategorije (klase) solarnih automobila, odvija na trasi

dugoj 3.000 km od severa do juga Australije, od grada Darvina (Darwin) do grada Adelajda (Adelaide). Do 1999. godine održavano je svake treće godine, a potom se održava svake druge godine (vid. sliku 32).



Sl. 32. Trasa trke WSC od Darvina do Adelajda i startna pozicija trke u gradu Darvinu, Australija

Takmičenje *World Solar Challenge* stvoreno je u nastojanju da se podstaknu istraživanja i razvoj održivog drumskog saobraćaja, tj. implementacija pogona na električnu energiju solarnog porekla u serijski proizvedenim automobilima. Pored Australije, takmičenja solarnih automobila održavaju nekoliko puta godišnje na različitim kontinentima sveta: u Severnoj Americi, Južnoj Americi, Evropi, Africi, na Bliskom istoku i u severnoj Africi. Većina ovih takmičenja primenjuje pravila *World Solar Challenge*.

Cela zamisao takmičenja WSC počiva na koncepciji da solarni automobil od 1.000 kW završi putovanje u okviru zadatih sati, uz optimalan utrošak solarne energije, što podrazumeva detaljno planiranje i izvanrednu organizaciju putovanja. To je trka koja treba da pokaže pre svega izdržljivost i bezbednost takmičarskog automobila. Svakom solarnom automobilu odobreno je početnih 5 kW/h uskladištene energije, koja predstavlja tek deseti deo neophodne energije na samom startu trke. Preostala energija neminovno mora da bude dobijena od sunčeve svetlosti ili se naknadno dobija ograničenom kinetičkom energijom koja se vraća tokom kočenja (proces *rekuperacije*). Da bi se postigao ovaj cilj, neophodno je da solarni automobil bude izuzetno dobro izbalansiran i efikasan u različitim aspektima funkcionisanja, kako je to predviđeno pravilnikom WSC. Konstruktorskim timovima i dizajnerima ostavlja se velika kreativna sloboda u okviru zadatih parametara. Na ovaj način objedinjuju se znanja i veštine dizajnera, konstruktora, mašinskih i elektroinženjera sa svih meridijana sveta, a ohrabruje se inovativno razmišljanje ljudi iz različitih struka.

### 4.3. Primenjivanje pravila WSC 2015 pri izradi solarnog automobila u kategoriji *Cruiser*

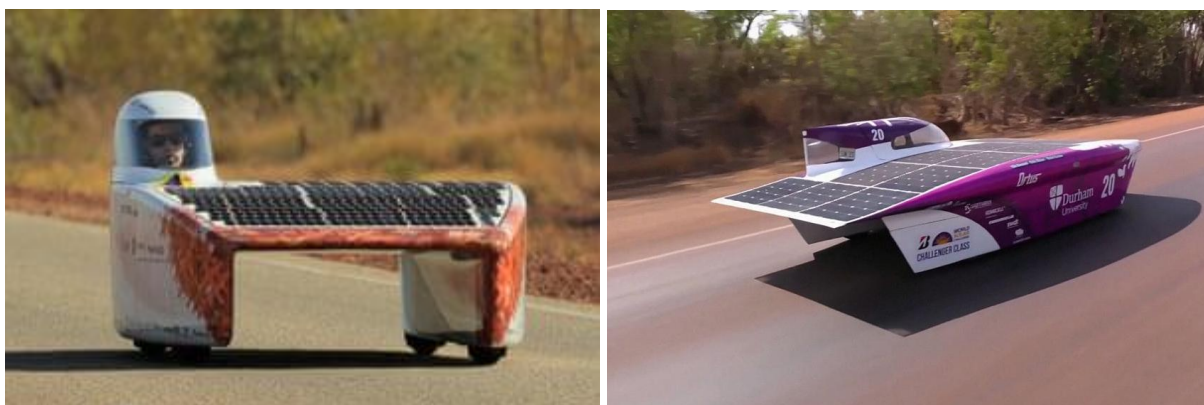
Prema pravilniku WSC 2015 u trci učestvuju tri klase solarnih automobila (vid. sliku 33):



Sl. 33. Pravilnik WSC 2015 i zvanični logotipi takmičarskih kategorija (klasa) solarnih automobila

Dok kod automobila iz kategorije *Challenger* takmičenje (trka) mora biti realizovano u jednoj fazi, automobili iz kategorija *Adventure* i *Cruiser* imaju na raspolaganju jedan *stop point* na pola puta, u mestu Alis Springs (Alice Springs). U tom mestu timovi mogu da napajaju automobile električnom energijom iz mreže (do 2013. godine imali su pravo na tri takve dopune).

Automobili u kategoriji *Challenger* („izazivač“) imaju samo jedno sedište, maštovito su dizajnirani i veoma aerodinamični, izgledaju neobično (vid. sliku 34). Bazni parametri su: maks. dužina: 4,5 m; maks. širina: 1,8 m; maks. površina solarnog panela: 6 m<sup>2</sup>; 4 točka.



Sl. 34. Različite forme solarnog automobila iz kategorije (klase) *Challenger*

I automobili u kategoriji *Adventure* („avantura“) imaju jedno sedište, s tim što kod ove kategorije konstruktori nisu obavezni da se pridržavaju pravila koja su bila propisana za prethodnu takmičarsku sezonu. Utoliko izrada i takmičenje automobila iz ove kategorije predstavljaju izuzetnu inspiraciju i avanturu, što je simbolično naznačeno i u nazivu kategorije (vid. sliku 35). Bazni parametri su: maks. dužina: 4,5 m; maks. širina: 1,8 m; maks. površina solarnog panela: 6 m<sup>2</sup>; 3 točka.





Slika 35. Solarni automobil u kategoriji *Adventure*: *Emilia 2* tima *Onda Solare* (Italija)

Međutim, solarni automobili u kategoriji *Cruiser* („krstarica“) dizajniraju se tako da budu udobni i ekonomični, približno kao i vozila serijske prouzvodnje za svakodnevnu upotrebu, sa standardnim pogonom na naftne derivate (benzinsko i dizel-gorivo). Timovi koji učestvuju u izradi solarnih automobila iz ove kategorije stalno nastoje da kroz novi koncept automobila promene način razmišljanja o upotrebi vozila sa pogonom na bazi naftnih derivata (vid. slike 36–38).



Sl. 36. Solarni automobil u kategoriji *Cruiser*: *UNSW Solar Racing Team – SUNSWIFT* (Australija)



Sl. 37. Solarni automobil u kategoriji *Cruiser*: *Stella Eindhoven University of Technology* (Holandija)



Sl. 38. Solarni automobil u kategoriji *Cruiser*: *Sun SPEC4 Singapore Polytechnic* (Singapur)

Automobil u kategoriji *Cruiser* mora, pre svega, da bude osposobljen da prevozi teret u vidu dva do četiri putnika, sa eventualnim prtljagom, a da pri tome odnos potrošnje pogonske električne energije i praktičnosti bude što više izbalansiran. Bazni parametri su:

- maksimalna dužina 5 m;
- maksimalna širina 1,8 m;
- maksimalna površina solarnog panela: 6 m<sup>2</sup>;
- 4 točka.

U Sjedinjenim Američkim Državama koristi se alternativni naziv za automobile iz ove kategorije: *Multi Occupant Vehicle – MOV* („vozilo za više putnika“), koji učestvuju na takmičenju *American Solar Challenge*.

Proces dizajniranja, projektovanja, konstruisanja i izrade takmičarskog solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* znatno se razlikuje od odgovarajućeg procesa kod standardnih putničkih automobila, koji su namenjeni masovnoj serijskoj proizvodnji i opštoj upotrebi u saobraćaju. Kao što je rečeno, takmičenje *WSC* začeto je u nastojanju da se podstaknu istraživanja i razvoj održivog drumskog saobraćaja. Stoga *WSC* i ne predstavlja takmičenje (trku) gde je presudna brzina učesnika. Regulatorna filozofija *WSC* teži da definiše prvenstveno funkcionalno-tehničke zahteve (parametre) na kojima će se zasnivati konstrukcija, dizajn, funkcionisanje i bezbednost solarnih automobila, a ne da tačno precizira uputstva kako će se izraditi solarni automobil.

Izvorni tekst pravilnika *WSC 2015* na engleskom jeziku ima ukupno 43 strane:

[http://www.worldsolarchallenge.org/files/522\\_2015\\_world\\_solar\\_challenge\\_event\\_regulations.pdf](http://www.worldsolarchallenge.org/files/522_2015_world_solar_challenge_event_regulations.pdf)

U pravilniku, posebno u odeljku pod nazivom: *Section 2: Technical Regulations for the Solar EV* („Tehnička pravila za solarno električno vozilo“), utvrđeni su funkcionalno-tehnički zahtevi (parametri) koji se odnose na:

- tip i površinu solarnih panela;
- elektronske komponente i baterije;
- komponente mehaničke konstrukcije;
- ugao preglednosti (vidljivosti iz kabine vozača);
- materijale i tehničko-tehnološke mogućnosti izrade;
- sigurnosne elemente za putnike tokom vožnje i pri napuštanju vozila.

Na svakom takmičenju solarnih automobila takmičarske sudije (*jury*) precizno ocenjuju kako su timovi učesnika zadovoljili predviđene parametre, koji se boduju i utiču na finalni rezultat i plasman u takmičenju. Pored toga ocenjuje se i brzina koju solarni automobil postiže na svakoj od predviđenih etapa trke, ali uz iskazani stepen izdržljivosti automobila i bezbednost putnika u vožnji.

## **Napomene**

1. a) <https://ondasolare.com/> (pristup: 07. 12. 2015).  
b) <https://www.unibo.it/it/ricerca/progetti-e-iniziative/progetti-unibo-por-fesr-2014-2020-1/onda-solare> (pristup: 08. 12. 2015).  
c) <https://www.unibo.it/it> (pristup: 08. 12. 2015).
2. <https://www.regione.emilia-romagna.it/> (pristup: 09. 12. 2015).
3. [www.worldsolarchallenge.org](http://www.worldsolarchallenge.org) (pristup: 07. 12. 2015).

## **II. KREATIVNO-EKSPERIMENTALNI DEO**

## 5. SARADNJA DIZAJNERA MARKA LUKOVIĆA I TIMA ONDA SOLARE NA PROJEKTU IZRADE SOLARNOG AUTOMOBILA U KATEGORIJI CRUISER

U okviru Univerziteta u Bolonji deluje i Fakultet inženjerskih nauka (*Facoltà di Ingegneria*), sa sledećim departmanima (vid. sliku 39):

- 1) Departman električnog i informatičkog inženjerstva „Đuljelmo Markoni” (*Dipartimento di Ingegneria dell’Energia elettrica e dell’Informazione „Guglielmo Marconi” – DEI*);
- 2) Departman industrijskog inženjerstva (*Dipartimento di Ingegneria Industriale – DIN*);
- 3) Departman informatike i naučnog inženjerstva (*Dipartimento di Informatica – Scienza e Ingegneria – DISI*);
- 4) Departman matematike (*Dipartimento di Matematica – MAT*);
- 5) Departman fizike i astronomije (*Dipartimento di Fisica e Astronomia – DIFA*);
- 6) Departman menadžmenta (*Dipartimento di Scienze Aziendali – DiSA*).

Fakultet inženjerskih nauka blisko je povezan sa departmanima koji čine zasebne organizacione celine: Departmanom civilnog, hemijskog, ambijentalnog i materijalnog inženjerstva (*Dipartimento di Ingegneria civile, chimica, ambientale e dei Materiali – DICAM*) i Departmanom arhitekture (*Dipartimento di Architettura – DA*).



Sl. 39. Glavna zgrada Fakulteta inženjerskih nauka u užem centru Bolonje (adresa: Viale del Risorgimento 2)

U realizaciji projekta dizajniranja, konstruisanja i izrade solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* ja sam – kao jedini dizajner – za vreme šestomesečnog boravka na Univerzitetu u Bolonji tesno sarađivao sa članovima multidisciplinarnog projektantskog tima *Onda Solare*. Na ovom projektu bilo je angažovano 35 stručnjaka raznih disciplina iz šireg sastava tima *Onda Solare*.

Većina su profesori Fakulteta inženjerskih nauka, ali su bili angažovani i njihovi mlađi saradnici (asistenti i naučni istraživači). Posebno sam sarađivao sa sledećim profesorima:

1) profesor **Andrea Zukeli** (Andrea Zucchelli, PhD, Professor), Departman industrijskog inženjerstva (DIN); akademske discipline: ING-IND/14 Mechanical Design and Machine Construction;

2) profesor **Klaudio Rosi** (Claudio Rossi, PhD, Professor), Departman električnog, elektroničnog i informatičkog inženjerstva (DEI); akademske discipline: ING-IND/32 Power Electronic Converters and Electrical Machines;

3) profesor **Alesandro Talameli** (Alessandro Talamelli, PhD, Professor), departman industrijskog inženjerstva (DIN); akademske discipline: ING-IND/06 Fluid Dynamics;

4) profesor **Dandakomo Minak** (Giangiacomo Minak, PhD, Professor), Departman industrijskog inženjerstva (DIN); akademske discipline: ING-IND/14 Mechanical Design and Machine Construction;

5) profesor **Kristijano Fragasa** (Cristiano Fragassa, PhD, Professor), Departman industrijskog inženjerstva (DIN); akademske discipline: ING-IND/14 Mechanical Design and Machine Construction;

6) profesor **Ana Pavlović** (Phd, Professor), Departman industrijskog inženjerstva (DIN); akademske discipline: ING-IND/14 Mechanical Design and Machine Construction;

7) profesor **Betriče Pulvirenti** (Beatrice Pulvirenti, PhD, Professor), Departman industrijskog inženjerstva (DIN) – aerodinamički konsultant (Aerodynamics consultant); akademske discipline: ING-IND/10 Thermal Engineering and Industrial Energy Systems;

8) **Aleksandro Palmijeri** (Alexandro Palmieri), aerodinamički konsultant za CFD simulacije; Međuresorni centar za industrijska istraživanja u naprednim primenama u mašinstvu i tehnologiji materijala (CIRI MAM).

Naročitu saradnju imao sam sa inženjerom **Stefanom Maljom** (Stefano Maglio, Ing.), vođom tima (*team leader*) *Onda Solare*. On je posedovao veliko praktično iskustvo iz rada kod najpoznatijih italijanskih i svetskih proizvođača automobila, gde je obavljao sledeće funkcije: *Lamborghini Automobili* (Quality specialist presso); *Fiat Chrysler Automobiles – FCA* (Quality Car Coordinator); *Euro Engineering presso Maserati* (Ingegnere di Macchina); *Ferrari Automobili* (Product Menager).

Pored navedenih profesora, saradivao sam takođe sa njihovim mlađim saradnicima, među kojima su bili:

- 1) **Marko Skalobri** (Marco Scalobri), konstruktor u timu *Onda Solare*;
- 2) **Davide Pontara** (Davide Pontara), Departman električnog, elektroničnog i informatičkog inženjerstva (DEI);
- 3) **Gabrijele Rizoli** (Gabriele Rizolli), Departman električnog, elektroničnog i informatičkog inženjerstva (DEI);
- 4) **Davide Koki** (Davide Cocchi), Departman industrijskog inženjerstva (DIN);
- 5) **Jurij Belkari** (Juri Belcari), Departman industrijskog inženjerstva (DIN);
- 6) **Mateo Karpaneli** (Matteo Carpanelli), Departman industrijskog inženjerstva (DIN);
- 7) **Karlo Falkomer** (Carlo Falcomer), Departman za računarstvo i inženjerstvo (DISI);
- 8) **Frančesko Kasarini** (Francesco Cassarini), Departman automatizovane robotika i mehanotronike (CIRI), zaposlen u kompaniji *Ferrari Automobili*.

Moji radni sastanci sa članovima tima *Onda Solare* održavani su najčešće u prostorijama i laboratorijama Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Bolonji (vid. slika 40).



Sl. 40. Konsultacije Marka Lukovića sa profesorima i mlađim saradnicima – članovima tima *Onda Solare*

## 6. ODREĐIVANJE POZICIJE SOLARNIH PANELA I PAKETA-MODULA BATERIJA NA SOLARNOM AUTOMOBILU U KATEGORIJI *CRUISER*

### 6.1. Ispitivanje optimalne pozicije solarnih panela na solarnom automobilu

Osnovni (standardni) modul solarne ćelije ima kvadratni oblik, sa dimenzijama: širina 125 mm, visine 125 mm. Razmaci između pojedinačnih modula solarnih ćelija mogu varirati: od jednog milimetra u vertikalnom rasporedu, preko dva milimetra u horizontalnom rasporedu, pa sve do tri milimetra od ivice samog nosećeg panela (vid. sliku 41). Moduli formiraju solarne panele različitih dimenzija, tako da varira ukupan broj modula na panelima.<sup>1</sup>



Sl. 41. Oblik i dimenzije osnovnog modula solarne ćelije

Kao što je rečeno, prema pravilniku *WSC 2015* kod solarnih automobila u kategoriji *Cruiser* dozvoljeno je da solarni paneli sa foto-naponskim ćelijama (*photovoltaic – PV*) imaju površinu do maksimalno šest kvadratnih metara. Raspored panela na automobilu definišu osnovni ćelijski moduli, koji su standardnih dimenzija, u različitim šematskim grupacijama.

Da bih se kao dizajner što bolje upoznao sa pozicijom i praktičnom primenom solarnih panela na solarnim automobilima koje je do tada bio kreirao tim *Onda Solare* – prisustvovao sam jednoj pokaznoj vožnji automobila *Emilia 3* iz takmičarske kategorije *Challenger*. Profesori, elektroinženjeri i tehničari (članovi tima *Onda Solare*) uživo su mi pokazali sistem postavljanja solarnih panela na samo vozilo i njihovo funkcionisanje (vid. sliku 42).

Finalni dizajn solarnog automobila veoma zavisi i od stepena savitljivosti apliciranog solarnog panela (vid. sliku 43). Zbog tehničkog ograničenja materijala moguće je postići blago zakrivljenje (savijanje) solarnih panela samo po jednoj osi: ili po horizontalnoj-poprečnoj ili po vertikalnoj-uzdužnoj površini (vid. sliku 44). Članovi tima i ja zaključili smo da u konstruisanju i dizajniranju solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* solarni paneli treba da budu postavljeni na gornju krovnu površinu automobila – u vidu svojevrsnog „poklopca“.





Sl. 42. Demonstriranje sistema postavljanja solarnih panela na automobilu u kategoriji *Challenger*



Sl. 43. Savitljivost solarnog panela    Sl. 44. Zakrivljenje panela na automobilu u kategoriji *Challenger*

## 6.2. Ispitivanje optimalne pozicije paketa-modula baterija unutar solarnog automobila

Pravilnikom *WSC 2015* definisani su mogući tipovi baterija za solarni automobil u kategoriji *Cruiser*: 1) Li-ion; 2) Li-Polymer; 3) LiFe PO<sub>4</sub>. Inženjeri elektrotehnike u sastavu tima *Onda Solare* opredelili su se za sledeće karakteristike električnih baterija:

- tip i model ćelije: Li-ion (litijum-jonske) – LiNiCoAlO<sub>2</sub> - Samsung INR18650-35E;
- nominalni kapacitet ćelije: 3,4 Ah; ukupan broj ćelija: 1.344; nominalni napon paketa: 331,2 Ah; ukupna energija: 16,1 kWh.

Mogući su različiti načini grupisanja osnovnih baterijskih ćelija u veće pakete-module, što daje mogućnost i za različita rešenja u pozicioniranju baterija unutar solarnog automobila (vid. sliku 45).<sup>2</sup> Tokom korišćenja solarnog automobila solarna energija se pretvara (konvertuje) u električnu energiju i skladišti (akumuulira) u baterijama. Ovaj proces konvertovanja omogućava poseban uređaj – konvertor / *converter* / *inverter* (vid. sliku 46).

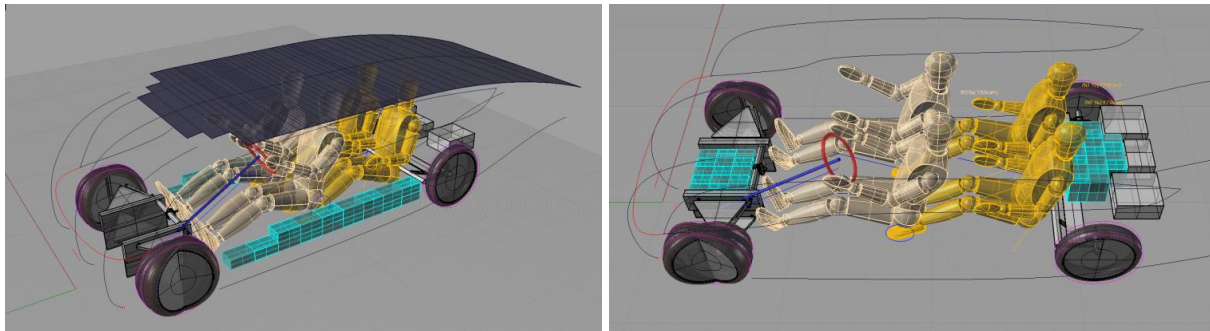


Sl. 45. Standardni tipovi i paketi baterija

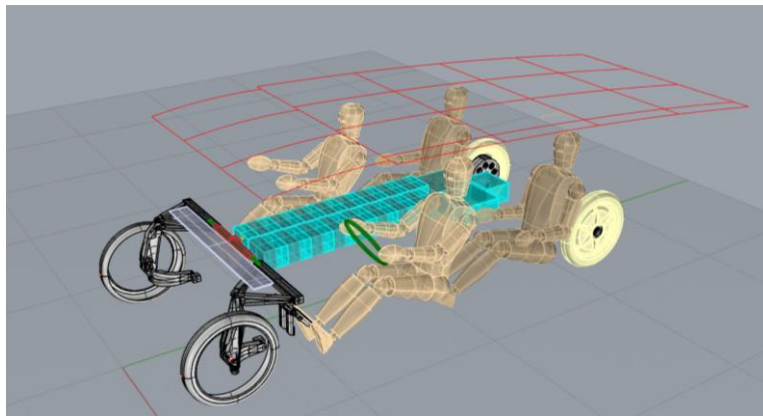


Sl. 46. Uređaj za konvertovanje solarne energije

Posle navedenih opredeljenja tima *Onda Solare* usredsredio sam se na rešavanje pitanja pozicije baterija unutar automobila i ponudio sam više varijanti rešenja (vid. sliku 47). Inženjeri i aerodinamičari u timu ocenili su kao najprihvatljivije rešenje da se baterije rasporede po uzdužnoj osi automobila jer se time postiže ravnomernija preraspodela mase automobila i obezbeđuje niži centar sile gravitacije (vid. sliku 48).



Sl. 47. Različite moguće pozicije preraspodele baterija u solarnom automobilu



Sl. 48. Usvojeno rešenje rasporeda baterija po uzdužnoj osi u solarnom automobilu

## Napomene

1. a) <https://www.aeg-industrialsolar.de/> (pristup: 23. 01. 2016).

b) Boxwell, Michael. 2019. *The Solar Electricity Handbook: 2019 Edition*. London (United Kingdom): Greenstream Publishing.

2. Rizvi, Syed Wahb Mehdi (2142342). *Design and Optimisation of a Solar Array for the Flinders Solar Car*. Master Thesis (18-units). Academic Supervisor: Dr. Stuart Wildy. 5th December 2016.

## **7. FAZE KREATIVNO-ISTRAŽIVAČKOG RADA NA DIZAJNIRANJU SOLARNOG AUTOMOBILA U KATEGORIJI *CRUISER***

### **7.1. Osnovni elementi kreativno-istraživačkog rada na dizajnu solarnog automobila**

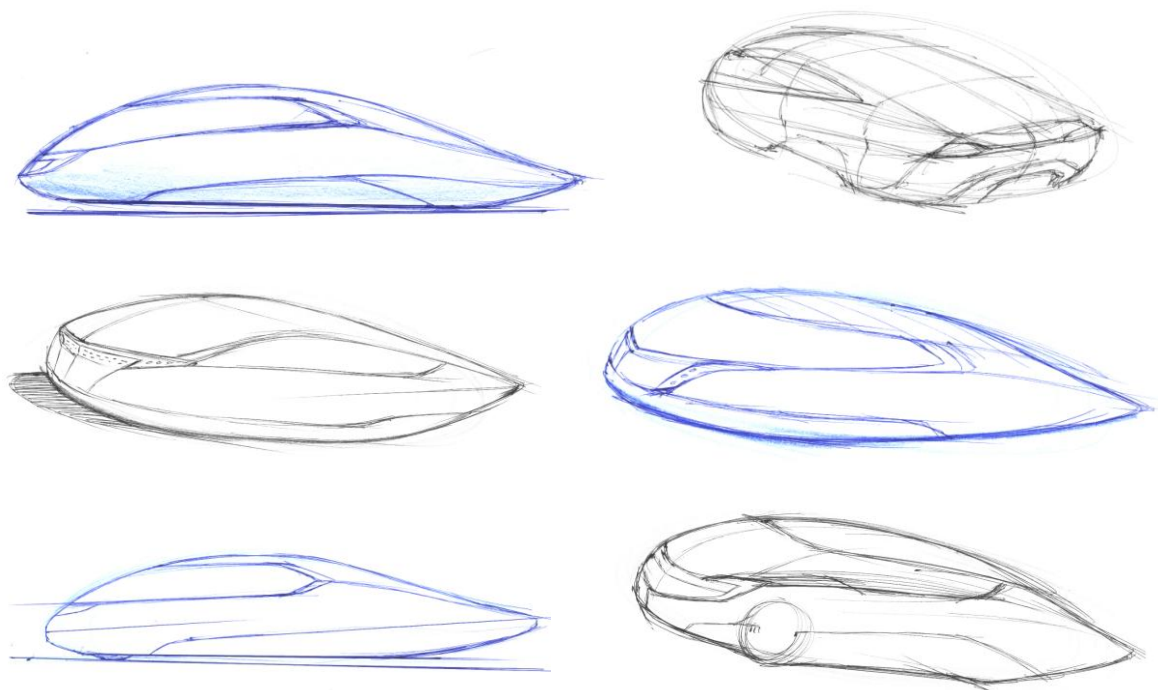
Sav moj rad odvijao se u konstantnoj kordinaciji sa radom svih ostalih članova tima *Onda Solare*, a svako rešenje koje sam ponudio bilo je predmet analize, eksperimentalne provere i procene sa stanovišta svake struke zastupljene u strukturi tima. Povratne informacije koje sam dobijao na ovaj način obavezivale su me da svaku narednu iteraciju (varijantu) dizajnerskog rešenja korigujem u 3D softveru i da je na taj način optimizujem. Tako je moj rad prošao kroz nekoliko faza, uz moju stalnu težnju da zadovoljim funkcije ovog solarnog automobila, a da pritom maksimalno naglasim i njegov originalni estetski izgled (stajling):

- 1) izrada i odabir inicijalnih idejnih rešenja za dizajn i stajling solarnog automobila u vidu skica rađenih rukom i kolorisanje u 2D softveru;
- 2) definisanje dva moguća pravca dizajniranja automobila na osnovu svih aerodinamičkih i mehaničko-konstrukcionih pravila i zahteva – vazdušni tunel;
- 3) izrada više kompjuterski generisanih 3D modela u CAD softverima;
- 4) optimizacija novih rešenja kroz proveru u specijalizovanim kompjuterskim softverima za aerodinamičku CFD (*Computer Fluid Dynamics*) simulaciju;
- 5) usvajanje preliminarnog (predfinalnog) dizajnerskog i konstrukcionog rešenja;
- 6) usavršavanje (optimizacija) predfinalnog i usvajanje finalnog dizajnerskog rešenja;
- 7) izrada grafike karoserije automobila.

### **7.2. Izrada šireg izbora inicijalnih idejnih rešenja – skice i kolorisanje u 2D softveru**

U početnoj fazi mog kreativno-istraživačkog rada nastojao sam da osmislim i ponudim što više inicijalnih idejnih rešenja. Sve moje skice skenirane su i tako pripremljene za dalju obradu i digitalno kolorisanje u specijalizovanim 2D kompjuterskim softverima za digitalnu obradu bitmapiranih slika, kao što su *Adobe Photoshop*, *Corel Painter* ili *Sketch Book*.<sup>1</sup> Za to se obično koriste digitalne grafičke table različitih marki *Wacom* ili *Genius* za crtanje i kolorisanje digitalnom olovkom.<sup>2</sup>

Ovde se navodi samo deo (uži izbor) od većeg broja mojih ponuđenih skica – inicijalnih rešenja, koja su inspirisana oblikom aerodinamične izdužene kapljice vode (vid. sliku 49).

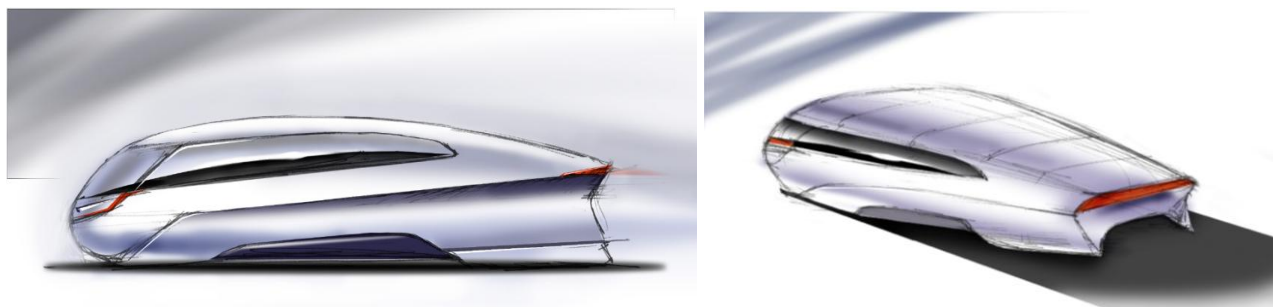


Sl. 49. Skice prvih idejnih rešenja za dizajn i stajling monovolumenskog solarnog automobila

### 7.3. Uži izbor – tri dizajnerska inicijalna idejna rešenja za dalju razradu

#### Prvo dizajnersko rešenje – skica br. 1.

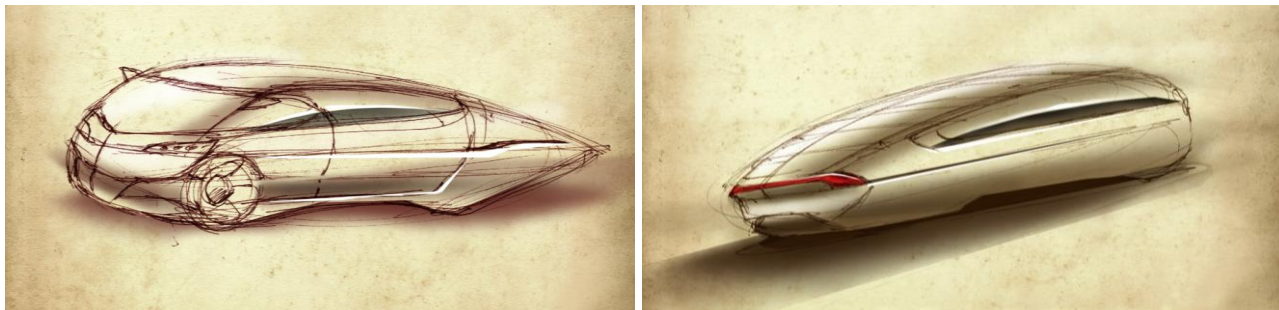
Na skici br. 1 (vid. sliku 50) prikazana je osnovna forma solarnog automobila inspirisana oblikom tela delfina i razvučene kapljice vode, uz najveći mogući koeficijent aerodinamike. Točkovi su pozicionirani unutar karoserije automobila da bi se obezbedilo idealno opstrujavanje vazduha.



Sl. 50. Skica br. 1

## Drugo dizajnersko rešenje – skica br. 2.

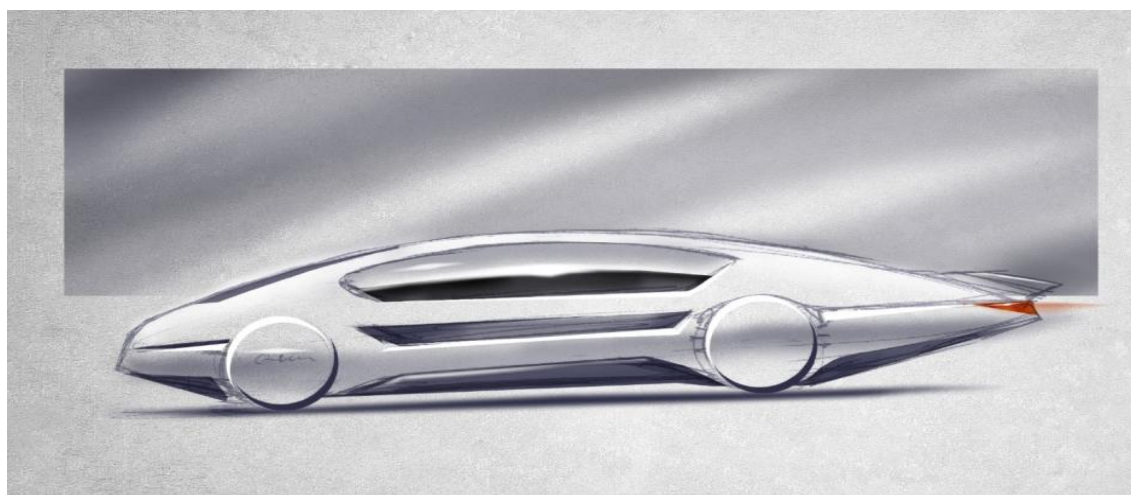
Na skici br. 2 (vid. sliku 51) prikazana je osnovna forma solarnog automobila koja je kreirana po matematičkom uzoru asimetričnog bikonveksnog NACA profila. Točkovi su pozicionirani unutar karoserije kako bi se obezbedilo idealno opstrujavanje vazdušnih masa.



Sl. 51. Skica br. 2.

## Treće dizajnersko idejno rešenje – skica br. 3.

Na skici br. 3 (vid. sliku 52) prikazana je osnovna forma solarnog automobila koja je kreirana po matematičkom uzoru razvučenog (pljosnatog) NACA profila. Uočljive su dve zasebne staklene površine u zoni bočnog otvaranja kabine. Pošto je automobil veoma nizak (visine oko 1,2 m), bilo je neophodno da se dizajnom omogući veliko vidno polje vozača. Segmentiranjem vrata u dva dela obezbedila bi se potrebna krutost samih vrata pri otvaranju nagore, ali ujedno pružio i zanimljiv i originalan estetski detalj, koji ističe stajling automobila. Prednji i zadnji točkovi maksimalno su pokriveni zaštitnim „ratkampnama“ (oblogama) u ravni sa karoserijom, čija je svrha da poboljšaju aerodinamiku i opstrujavanje vazduha.



Sl. 52. Skica br. 3.

#### 7.4. Upotreba 3D softvera za modelovanje i vizuelizaciju

U postupku kreiranja dizajna automobila i drugih vrsta vozila koriste se različiti savremeni softveri koji postoje na tržištu. Kombinacijom tehnika i metoda 3D modelovanja mogu se kreirati veoma složeni oblici i biomorfne površine.<sup>4</sup> Setom komandi i različitim postupcima modelovanja dolazi se na veoma brz i intuitivan način do željenih složenih geometrija. Zavisno od složenosti zamišljene geometrije, najčešće se upotrebljavaju tri metode kompjuterskog modelovanja:

- 1) *Solid*-modelovanje pomoću bazičnih geometrijskih oblika;
- 2) površinsko *NURBS*- modelovanje (*Non-uniform rational B-Spline*);
- 3) poligonsko *Sub-Devision* modelovanje.

Da bi se što efikasnije istražio veći broj dizajnerskih koncepata i njihovih iteracija, dizajneri različitih disciplina – poput industrijskog dizajna, dizajna vozila, koncept-dizajna za filmsku i video industriju – najčešće upotrebljavaju sledeće specijalizovane softvere: *Alias Studio*, *Rhinoceros (Rhino 3D)*, *Blender*, *Fusion 360*, *3D Studio Max*, *Maya*, *Cinema 4D*, *Z-Brush*, *Modo* i dr.

Za izradu fotorealističnih trodimenzionalnih prikaza (renderinga) novih dizajnerskih rešenja koriste se specijalizovani softveri kojima se, uz određeni niz komandi, dolazi do profesionalnih virtuelnih fotografskih trodimenzionalnih (3D) prikaza dizajna automobila i različitih proizvoda. Ti softveri omogućavaju korisnicima da na veoma jednostavan način postave svoj 3D proizvod u neograničen broj simuliranih realnih urbanih ili prirodnih okruženja. Moguće je i naknadno dodavanje izvora svetla i podešavanja dodatnih parametara, koji omogućavaju da finalni prikaz automobila i drugih proizvoda bude upečatljivo realističan.<sup>6</sup> Od ovih softvera najčešće su u upotrebi: *KeyShot*, *Blender*, *3DS Max V-ray*, *Unreal Engine*, *Maxwell render*, *Arnold*, *Lumion*, *Corona render*, *Maya*, *Blender*, *Octane* i dr.

#### 7.5. Vazdušni tunel: dva moguća pravca dizajniranja solarnog automobila

Tokom međusobnih konsultacija svih članova tima *Onda Solare*, uz posebne sugestije konstruktora i aerodinamičara, razmotrena su dva moguća pravca dizajniranja solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* – u zavisnosti od toga da li u podvozju karoserije automobila postoji ili ne postoji centralno postavljeni vazdušni tunel. Stoga su članovi tima tražili da predložim dve vrste rešenja dizajna automobila: sa vazdušnim tunelom i bez vazdušnog tunela u podvozju karoserije.

Pored toga, zahtevano je da model solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* bude dizajniran kao monovolumensko (jednozapreminsko) vozilo kako bi se obezbedila potrebna krutost šasije i efikasna aerodinamičnost automobila.

S tim u vezi uradio sam deset glavnih različitih varijanti (iteracija) dizajna eksterijera solarnog automobila (u obliku kompjuterski generisanih matematičkih 3D modela): šest varijanti bez vazdušnog tunela u podvozju i četiri sa vazdušnim tunelom. Ti modeli su poslužili za dalje kompjuterske CFD (*Computer Fluid Dynamics*) aerodinamičke simulacije i optimizacije oblika, te za finalnu inženjersku 3D CAD (*Computer Aided Design*) razradu i CAM (*Computer Aided Manufacturing*) pripremu za proizvodnju prototipa automobila.

Ovde se, međutim, ne prikazuju sve varijante koje sam uradio već samo njihov uži izbor: četiri varijante bez vazdušnog tunela i tri varijante sa vazdušnim tunelom.

## 7.6. Izbor varijanata dizajna eksterijera solarnog vozila – bez vazdušnog tunela

### Varijanta 1 – bez vazdušnog tunela

Prvu inicijalnu varijantu dizajnerskog rešenja (3D model) uradio sam nekoliko meseci pre mog zvaničnog dolaska u Bolonju i zajedničkog rada sa članovima tima *Onda Solare* (vid. sliku 53). Ovo preliminarno rešenje urađeno je slobodno, bez ikakvih prethodnih tehničkih sugestija i zahteva članova tima, s tim što sam sledio opredeljenje da budući solarni automobil bude u kategoriji *Cruiser* (za četiri osobe, u dva reda sedišta), uz uvažavanje zadatih gabaritnih mera i površine solarnih panela od 6 m<sup>2</sup>.



Sl. 53. Varijanta 1: rendering u realnom ambijentu (pustinjski put) i odnos dimenzija putnika i vozila

## Varijanta 2 – bez vazdušnog tunela

Kod ove varijante dobio sam kao startnu poziciju trodimenzionalne CAD modele ljudskih figura (manekene) u sedećem položaju u kabini. Manekeni služe da kao 3D parametri omoguće pronalaženje maksimalno bezbednosnog ugla nagnjaja trupa putnika unapred. Pomoću manekena istražio sam i utvrdio bezbednosne uglove (zone) kratanja trupa i položaja glava svih putnika u automobilu. Uvažena je ranija tehnička sugestija da krovna površina bude zaravljena samo po jednoj uzdužnoj osi, na kojoj su pozicionirani solarni paneli površine 5,2 m<sup>2</sup> (vid. sliku 54).



Sl. 54. Varijanta 2: 3D model automobila sa sigurnosnim uglovima kretanja trupa i glave putnika

## Varijanta 3 – bez vazdušnog tunela

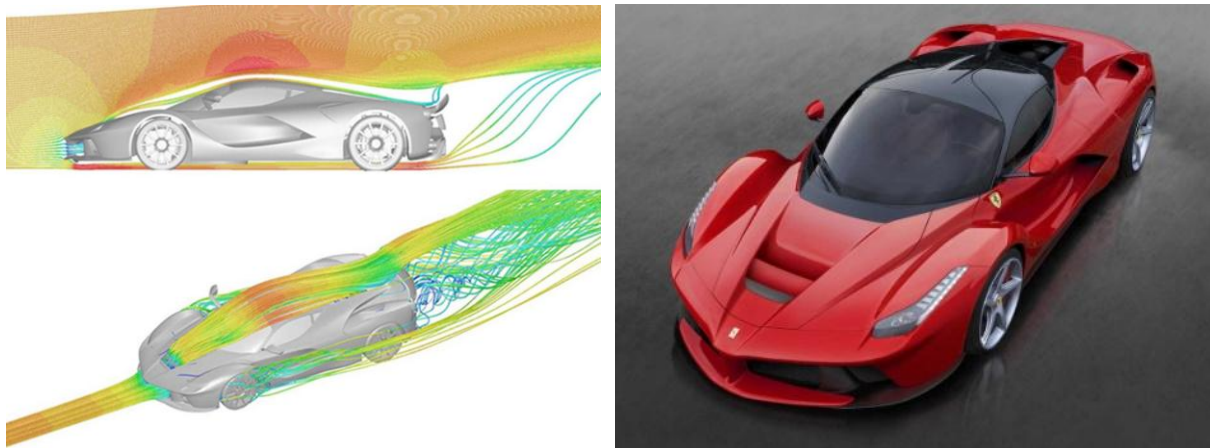
Novo dizajnersko rešenje urađeno je po uzoru na razvučenu kapljicu vode, sa zaobljenim krajem. Unutar vozila, pored 3D modela ljudi, dodati su 3D modeli elektrokonvertora i preliminirne pozicije paketa baterija. Da bi se obezbedila bolja preglednost iz kabine – prednji A stub (koji razdvaja „šoferšajbnu“ od bočnih prozorskih površina) znatno je vizuelno stanjen (onoliko koliko to statika objekta dozvoljava), a dodatno je obojen crnom bojom. Tako su ovom grafičkom intervencijom vizuelno povezane sve tamne prozorske površine sa velikom tamnom površinom solarnih panela. Kao specifični akcenti na prednjem delu automobila postavljene su duguljste tanke crne trake sa LED svetlosnim modulima dok su na zadnjem („repnom“) delu automobila u istom oblikovnom maniru postavljena zadnja „stop-svetla“ (vid. sliku 55).



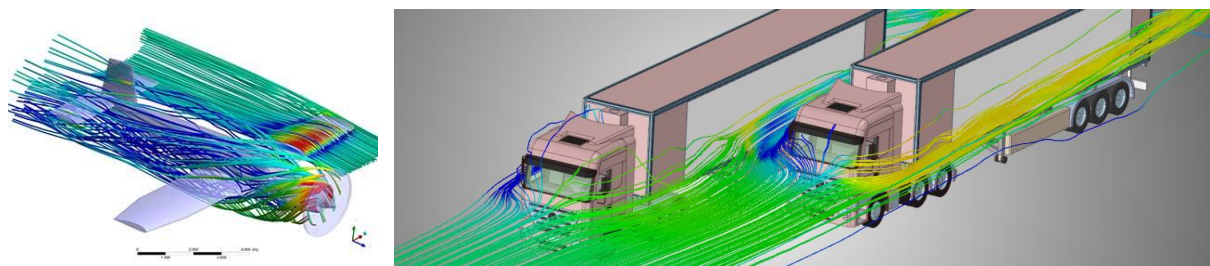


Sl. 55. Varijanta 3: 3D rendering sa rešenjem detalja karoserije (prednje i zadnje svetlosne grupe)

Usledile su moje dodatne intervencije na geometriji i topologiji tih površina korišćenjem kompjuterske CFD simulacije i procene aerodinamike pomoću softvera *Ansys Fluent*. Ovaj softver pruža široke mogućnosti za fizičko 3D modeliranje i ispitivanje protoka fluida (gasova i tečnosti), efekta turbulencije, prenosa toplote i različitih reakcija.<sup>7</sup> Stoga svi poznati proizvođači u automobilskoj (kao i u avionskoj) industriji koriste softver *Ansys Fluent* kako bi pre započinjanja proizvodnje simulirali, a potom i analizirali rezultate složenih kompjuterskih testova aerodinamike vozila (vid. slike 56 i 57).



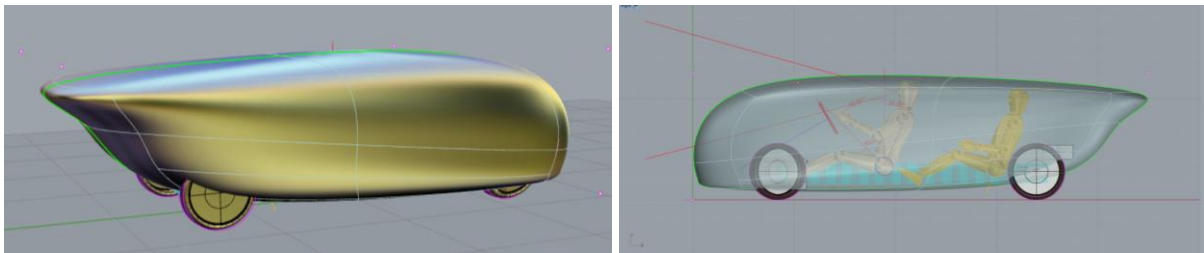
Sl. 56. Ferrari automobili – testiranje protoka vazduha i efekta turbulencije oko karoserije super-sportskog modela *La Ferrari* (2013) pomoću softvera *Ansys Fluent*



Sl. 57. Vizuelni prikazi CFD simulacije sa proračunima i rezultatima (letelice i teretna vozila)

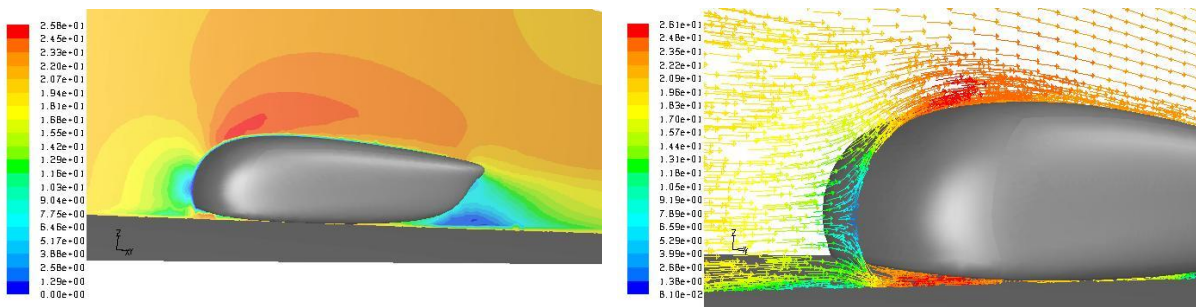
## Varijanta 4 – bez vazdušnog tunela

Na novom modifikovanom dizajnerskom rešenju usledila je CFD simulacija kako bi se dobili precizniji podaci o aerodinamici, veličini otpora vazdušnih masa na čeonj površini automobila i o efektima opstrujavanja i turbulencije (kovitlanja) vazdušnih masa oko spoljašnje površine automobila. Položaj putnika u prednjem redu sedišta ponovo je vraćen unazad pošto se uvidelo da će, ukoliko ostane previše napred, smetati upravljačkom mehanizmu koji povezuje volan sa prednjim točkovima (vid. sliku 58).



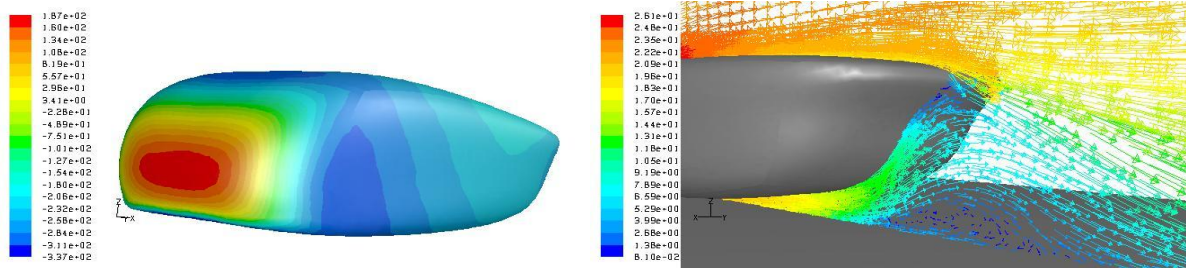
Sl. 58. Varijanta 4: početno formiranje izduženog oblika kapljice vode (suze)

Prve CFD simulacije uradili su aerodinamičari prof. dr Beatriče Pulvirenti i njen saradnik Aleksandro Palmijeri, koji su i autori grafičkih prikaza CFD simulacija u ovom radu. Simulacije su pokazale, kroz vizuelizaciju kompjuterskih matematičkih proračuna, da je ovakvo zaobljenje frontalnih površina veoma efikasno pošto se vektori (strujnice) koji simuliraju kretanje vazdušne mase kreću paralelno sa najvećom krovnom površinom (vid. sliku 59).



Sl. 59. Varijanta 4: CFD simulacija vazdušnog pritiska na frontalnu površinu

U zadnjem delu automobila uočen je problematičan tok vektora izlazeće vazdušne mase ispod automobila, koji je pri susretu sa gornjom vazdušnom masom pravio turbulenciju veću od očekivane. (vid. sliku 60).



Sl. 60. a) Veliki čeon (frontalni) pritisak b) turbulencija iza zadnjeg dela automobila

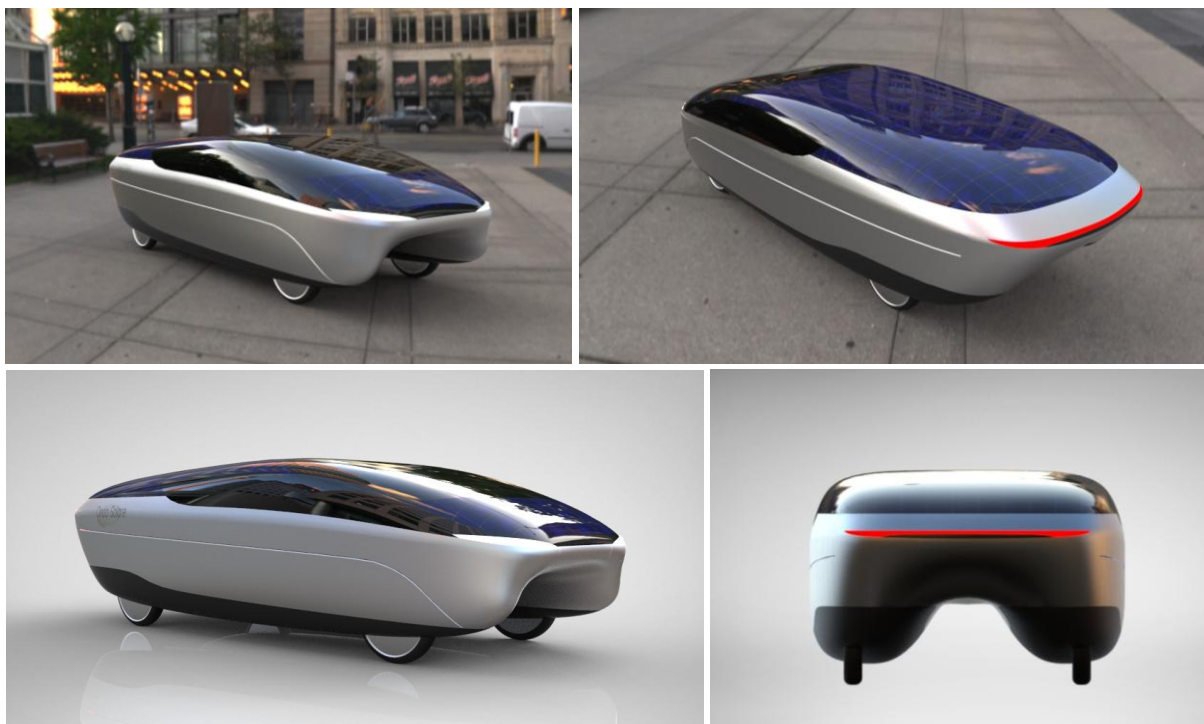
Savet aerodinamičara je bio da se oblik zadnjeg dela automobila („repa“) uoštiri što je više moguće – kako bi se dobio efekat NACA profila i kako bi u CFD simulaciji vektori bili što više paralelni pri napuštanju tela vozila. Poboljšan efekat opstrujavanja vazduha desio bi se i u realnosti (bio bi  $C_d$  0,29).

## 7.7. Varijante dizajna solarnog automobila – sa vazдушnim tunelom

### Varijanta 1 – sa vazдушnim tunelom

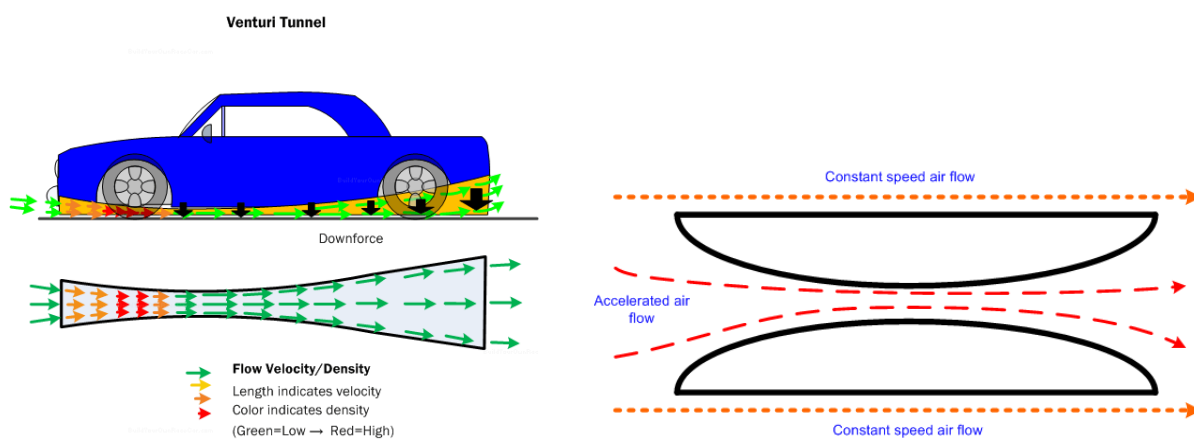
Navedene CFD simulacije i dobijeni rezultati analiza omogućili su stručnjacima u timu *Onda Solare* da zaključie da je potrebno uvesti nov pristup osmišljavanju arhitekture solarnog automobila. Tako je usvajana koncepcija solarnog automobila sa središnjim vazдушnim tunelom. Moj sledeći zadatak bio je da osmislim i ponudim estetski dopadljiv dizajn automobila u okviru svih tehničkih parametara koji su prethodno već bili definisani ekperimentalnim putem – ali sada sa vazдушnim tunelom u podvozzu karoserije automobila.

Moje novo dizajnersko rešenje odlikovalo se vrlo jednostvnim i prečišćenim pristupom u definisanju spoljašnjih površina automobila. Pošto je silueta ovog modela najviše vizuelno i estetski podsećala na itajjanske modele super-sportskih automobila marke *Lamborghini*, ovo dizajnersko rešenje najviše se dopalo članovima projektantskog tima *Onda Solare* (vid. sliku 61). Ovde je došla do izražaja dominantna napregnuta gornja linija (luk) bočnog izgleda, koja celokupnoj silueti automobila sugerise aerodinamičku efikasnost i otkriva „sportski duh“ trkačkog automobila. Izraženo je vizuelno jedinstvo krovnog dela sa solarnim panelima stvarajući na taj način utisak kao da je ceo automobil „izliven“ iz jednog komada. Forma je akcentovana tankom crvenom stilizovanom linijom zadnjih „stop-svetala“, dok su razvučene konture prednjih svetala doprinele da se nazru inspiracije dizajna oblicima iz aeronautike.



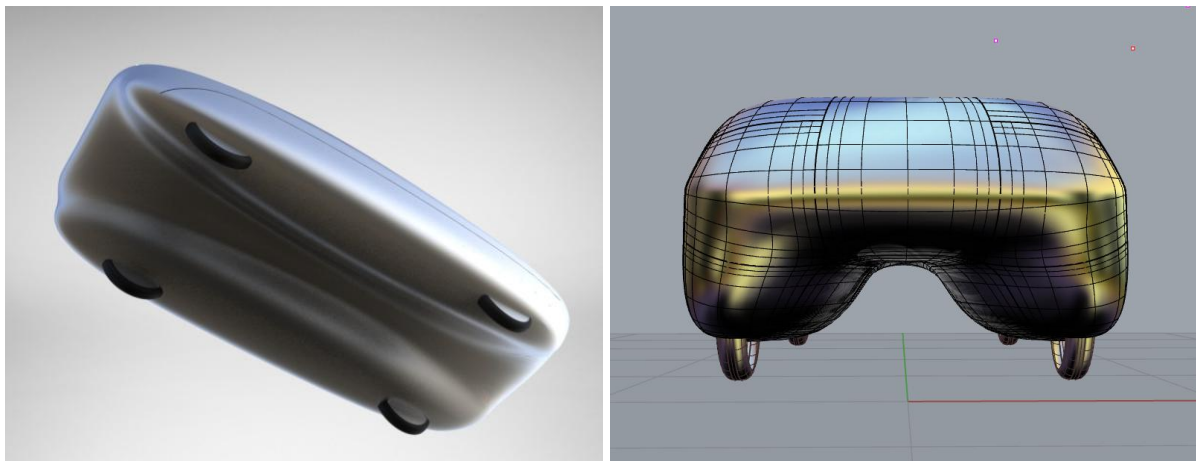
Sl. 61. Varijanta 1: dizajn koji je inspirisan oblicima iz oblasti aeronautike

Uporedo sa osmišljavanjem eksterijera automobila radio sam i na funkcionalnom aspektu ovog dizajnerskog rešenja. Oblik aerodinamičkog tunela u podvozju karoserije bio je zasnovan na principu venturi efekta i dizajniran je tako da se postigne efekat dodatnog prirodnog ubrzanja pomoću protoka vazdušne mase sabijene gustine (vid. sliku 62).



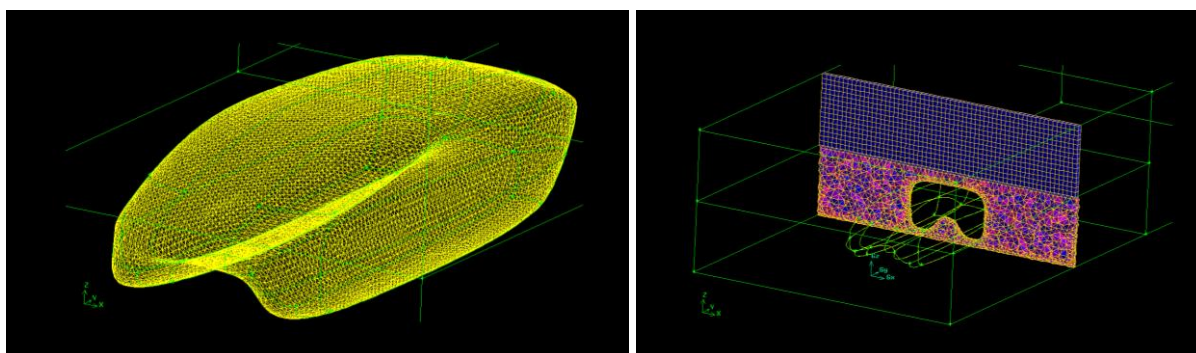
Sl. 62. Varijanta 1: primenjen princip ubrzanja vazduha putem venturi efekta

Oblikovan po aerodinamičkom uzoru krila aviona, tj. NACA profila, donji deo automobila imao je dvostruko zakrivljenje uzdužnih segmenata koji obuhvataju točkove, a u kojima je i previđen prostor za pozicioniranje putnika u dva reda (vid. sliku 63).

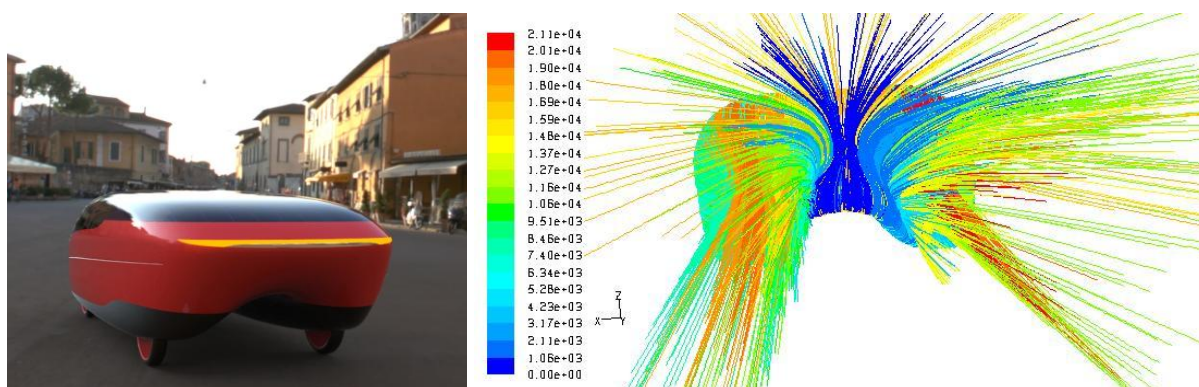


Sl. 63. Varijanta 1: topologija dizajna donjeg dela automobila – kao dvostruki NACA profil

Nove CFD simulacije na ovako unapređenom dizajnerskom rešenju omogućile su da vektori pokažu kompjuterski proračun pravolinijskog izlaza vazdušne mase ( $C_d$  0,21) bez turbulentnih dešavanja, s numeričkim efektom mogućeg povećanja brzine (vid. slike 64 i 65).

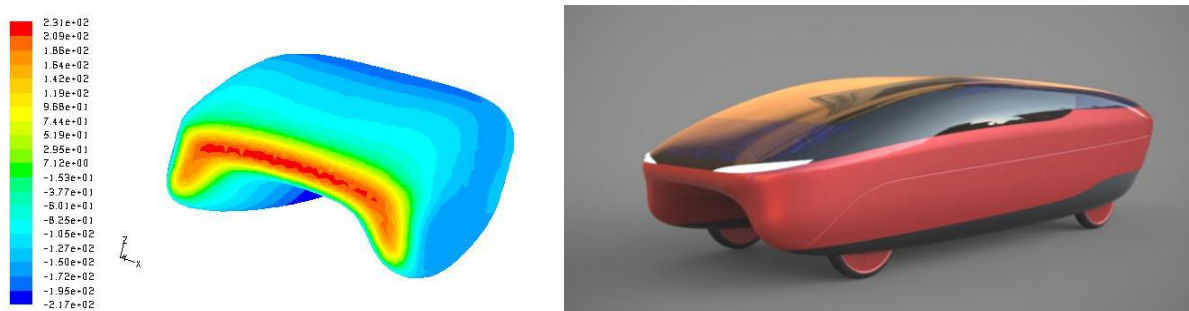


Sl. 64. Varijanta 1: priprema za CFD simulaciju: 3D model pretvoren u mrežu poligona (*mesh*) koji prolazi željenom zadatom brzinom kroz *domen* – digitalni aero-zid (takođe kao *mesh*) – softver *Ansys Fluent*



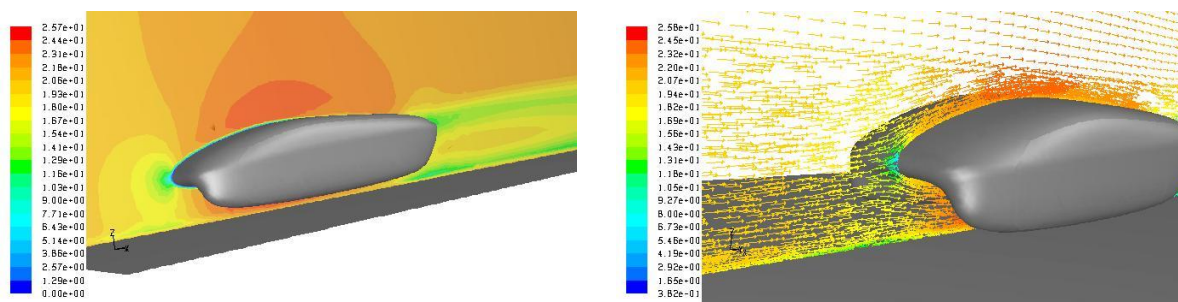
Sl. 65. Varijanta 1: uspostavljen je početni oblik kojim se smanjuje turbulencija zadnjeg dela

Grafički prikazi (crvenom i narandžasom bojom) pokazuju da je najjači frontalni pritisak vazduha na automobil smanjen na manju površinu „nosa“. Plava i zelena boja predstavljaju zone smanjenog vazdušnog pritiska na ostatak tela automobila (vid. sliku 66).



Sl. 66. Varijanta 1: zona frontalnog pritiska vazduha nalazi se na veoma maloj čeonj površini

CFD simulacija je pokazala da vektori horizontalnog toka vazduha imaju minimalnu preraspodelu pri opstrujavanju vazdušne mase na čeonom delu automobila (vid. sliku 67). Trag vazdušne mase iza automobila ima paralelnu putanju, što je bio krajnji cilj, a  $C_d$  0,21.



Sl. 67. Varijanta 1: uoštreni tanji prednji deo automobila „lepi“ vazdušnu masu za površinu automobila

## Varijanta 2 – sa vazдушnim tunelom

Iako je prethodno rešenje bilo estetski opšteprihvaćeno u timu, morao se napraviti nov kompromis u daljoj optimizaciji spoljašnjeg oblika. Naime, proverom u kompjuterskom CAD softveru utvrđeno je da je korisna površina za solarne panele previše mala (ispod  $4 \text{ m}^2$ ) i previše zakrivljena po obe ose. Pri takvoj površini solarni paneli ne bi dovoljno efikasno i brzo punili baterije, čiji predviđeni nominalni kapacitet iznosi 330 Ah (amper časova).

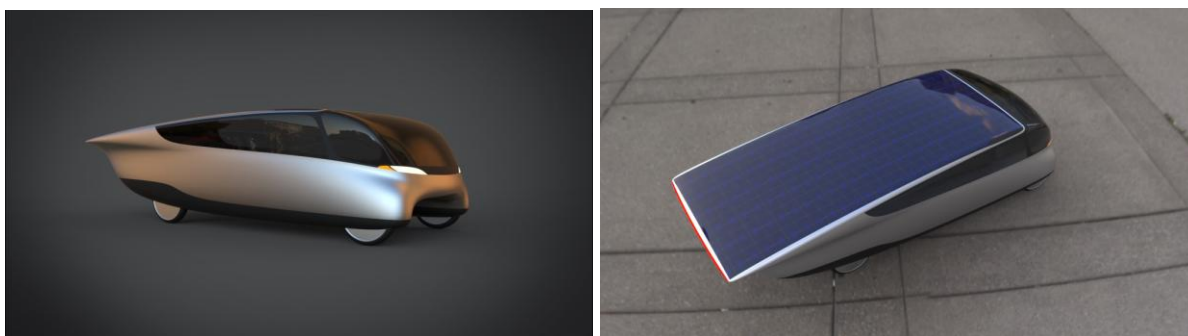
Stoga je bilo neophodno da se produži zadnji deo („rep“) i prošire bočni delovi automobila kako bi krovna površina bila dovoljno velika da prihvati solarne panele površine 5–6 m<sup>2</sup>. Aerodinamičari su mi sugerisali da ponovo dizajniram formu koja se oslanja na zakonitosti aerodinamike izdužene kapi vode i NACA profila (vid. sliku 68).



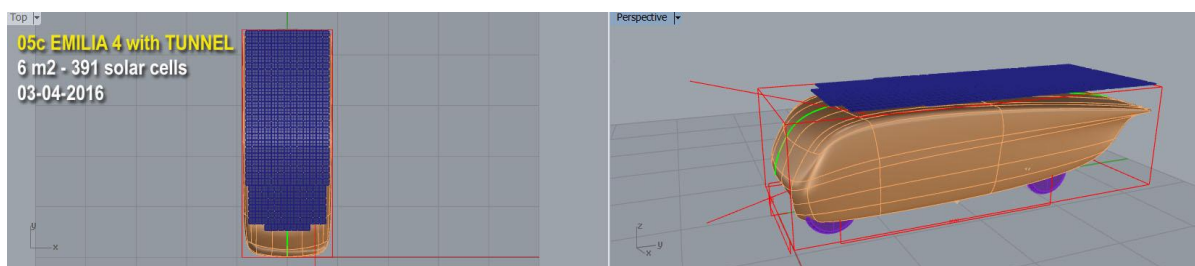
Sl. 68. Varijanta 2: svedena forma čeonu površine i bočne siluete po uzoru na NACA profil

### Varijanta 3 – sa vazдушnim tunelom: preliminarno rešenje dizajna solarnog automobila

U ovoj varijanti dizajnerskog rešenja posebna pažnja je posvećena projektovanju krovne površine, na kojoj su pozicionirani solarni paneli (vid. slike 69 i 70). Na površinu od 6 m<sup>2</sup> apliciran je u pravilnom rasporedu 391 bazični solarni modul.

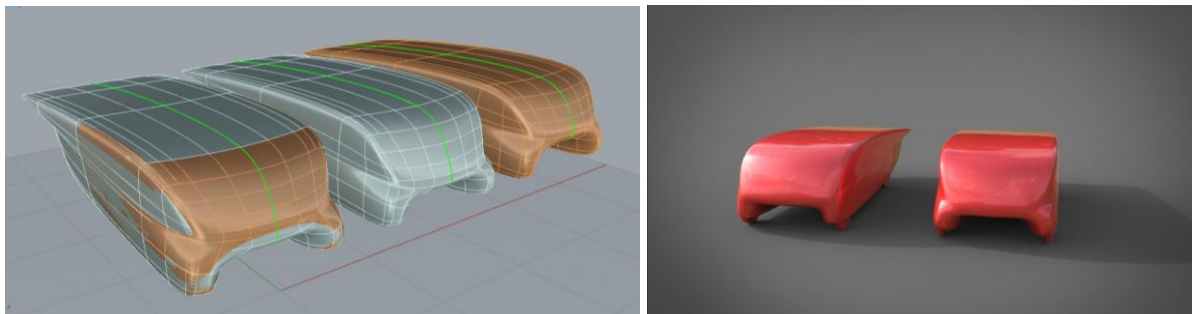


Sl. 69. Varijanta 3: dizajn koji je ispunio veliki deo neophodnih tehničkih zahteva i performansi



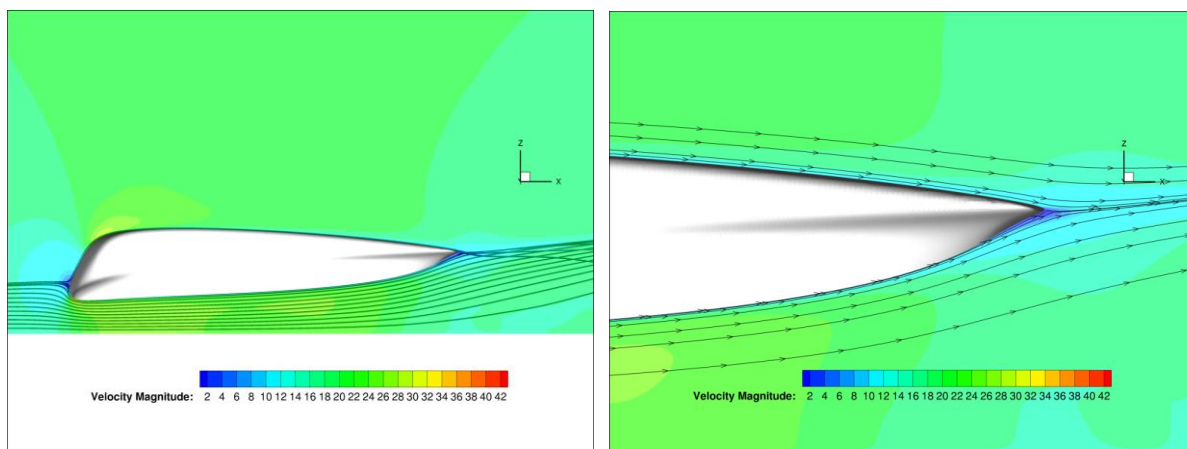
Sl. 70. Varijanta 3: na krovnoj površini obezbeđena je željena površina solarnih panela (do 6 m<sup>2</sup>)

Na zahtev aerodinamičara iz tima, uradio sam dve dodatne iteracije iste forme (vid. sliku 71). Te forme su se razlikovale u detaljima čeonu površine, a sve to da bi se uradila dodatna CFD simulacija, koja bi proračunala i pokazala jačinu i putanju frontalnog pritiska i turbulencija vazdušne mase.



Sl. 71. Dve iteracije iste forme: a) ravnija vetrobranska površina; b) zaobljene ivice vetrobrana

U CFD simulaciji strujnice (vektori) magnitude brzine (*Velocity Magnitude*) prikazuju vadašni trag iza automobila i imaju potpunu paralelnu putanju, a turbulencija je u potpunosti anulirana, što je ekvivalent najefikasnijim primerima oblika NACA profila (vid. sliku 72).

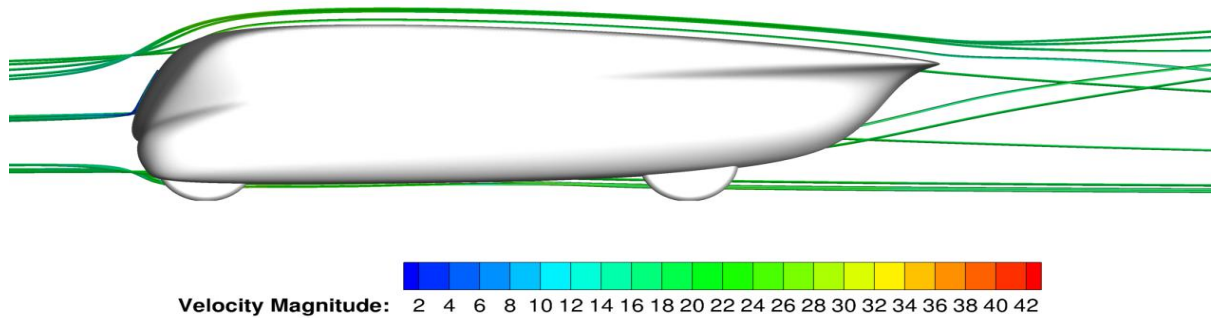


Sl. 72. Varijanta 3: Dobro opstrujavanje vazduha: vektori se stapaju u jednu izlaznu liniju

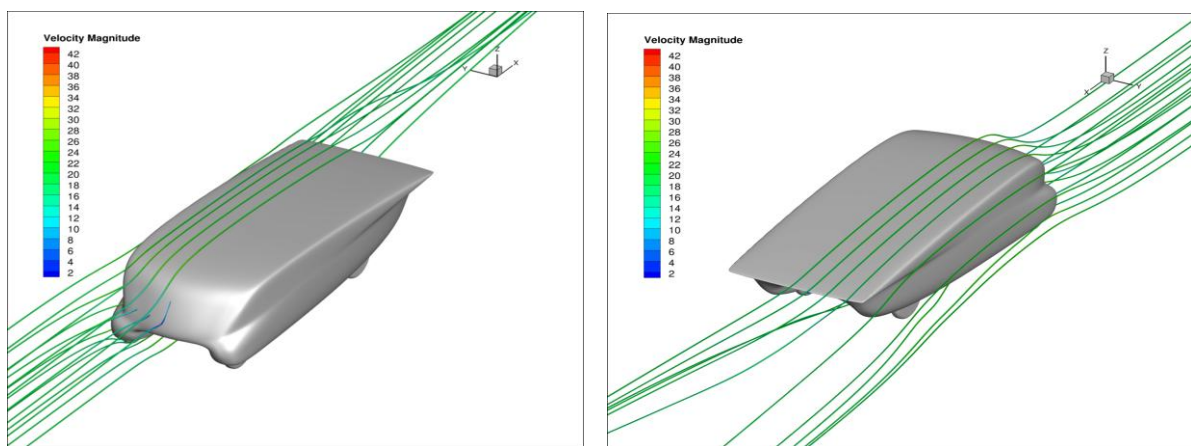
Smanjenjem čeonu površine i uoštravanjem zadnjeg („repnog“) dela automobila – ostvaren je do tada najmanji aerodinamički koeficijent  $C_d$  0,12 pošto su zadovoljeni svi zadati parametri pri prosečnoj brzini od 70 km/h (vid. slike 73, 74, 75).<sup>8</sup>

Tako se došlo do preliminarnog dizajnerskog rešenja sa vazdušnim tunelom, kojim je obezbeđena potrebna aerodinamičnost solarnog automobila u kategoriji *Cruiser*.





Sl. 73. Varijanta 3: bočni vektorski prikaz „prilepljenog“ toka vazduha oko siluete automobila



Sl. 74. Varijanta 3: grafički prikaz proračuna skoro potpuno anulirane turbulencije

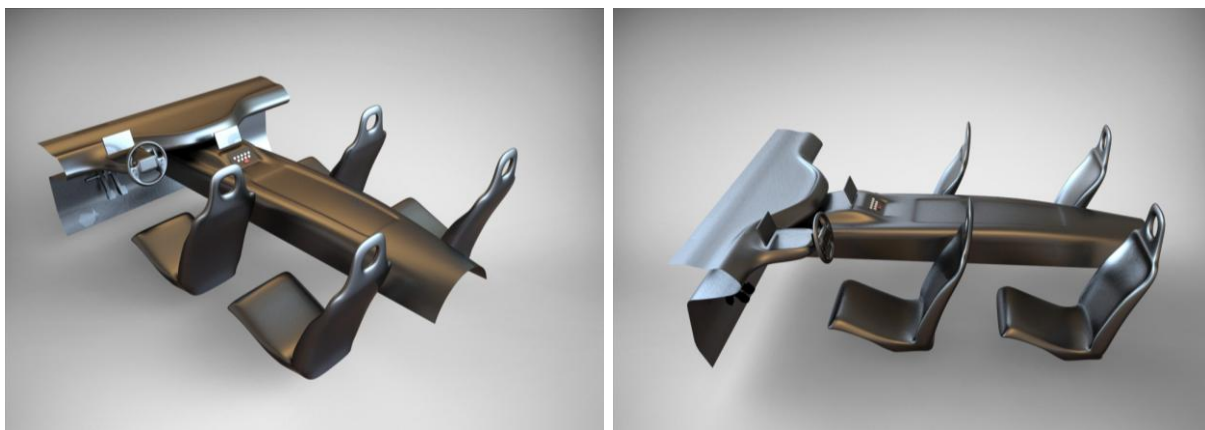
		OS2016-EM4-10b			OS2016-EM4-11e			
V	$\alpha$	$F_x$	$C_d A$	$C_d$	$F_x$	$C_d A$	$C_d$	
(km/h)	(m/s)	(deg)	(N)	(m <sup>2</sup> )	(---)	(N)	(m <sup>2</sup> )	(---)
40.0	11.11	0	18.41	0.243	0.138	18.53	0.245	0.138
40.0	11.11	5	19.14	0.253	0.144	18.52	0.245	0.138
40.0	11.11	10	18.66	0.247	0.140	18.52	0.245	0.138
40.0	11.11	15	17.09	0.226	0.128	17.51	0.232	0.130
55.0	15.28	0	34.15	0.239	0.136	34.23	0.239	0.135
55.0	15.28	5	35.32	0.247	0.140	34.14	0.239	0.134
55.0	15.28	10	34.56	0.242	0.137	33.62	0.235	0.132
55.0	15.28	15	31.61	0.221	0.126	32.12	0.225	0.127
70.0	19.44	0	54.44	0.235	0.134	54.63	0.236	0.133
70.0	19.44	5	56.34	0.243	0.138	54.21	0.234	0.132
70.0	19.44	10	54.83	0.237	0.135	53.46	0.231	0.130
70.0	19.44	15	50.29	0.217	0.123	51.21	0.221	0.125
85.0	23.61	0	79.40	0.233	0.132	79.74	0.234	0.132
85.0	23.61	5	82.17	0.241	0.137	79.38	0.232	0.131
85.0	23.61	10	80.11	0.235	0.133	78.02	0.228	0.129
85.0	23.61	15	73.61	0.216	0.122	74.84	0.219	0.123

Sl. 75. Varijanta 3: rezultati CFD simulacije – tabelarni uporedni prikaz optimizacije dve finalne iteracije oblika; dobijen je aerodinamički koeficijent  $C_d$  u rasponu 0,12–0,13 pri različitim brzinama

Uslediće potom još jedna faza moga rada: optimizacija preliminarnog i usvajanje finalnog dizajnerskog rešenja, o čemu će biti reči u narednom poglavlju.

## 7. 8. Konceptualno rešenje dizajna elemenata enterijera solarnog automobila

Uradio sam takođe idejna konceptualna rešenja dizajna elemenata enterijera (kabine) solarnog automobila (vid. sliku 76): 1) instrument-table; 2) oplata centralnog tunela sa ugrađenim komandama; 3) prednjih i zadnjih sedišta; 4) volana (upravljača) sa informativnim ekranom (*info-display*); 5) dva dodatna veća *info-display*-a.



Sl. 76. Dizajn enterijera karakterišu zaobljene površine radi umanjena rizika od povreda

Ponuđeni dizajn volana (upravljača) obuhvatao je tri varijante grafike proizvoda (vid. sliku 77). U centralnoj zoni volan poseduje informativni ekran osetljiv na dodir (*touch-screen display*). Na njemu se nalaze i manuelne komande za uključivanje (start) i isključivanje elektromotora.



Sl. 77. a) Tri varijante grafičkog rešenja volana;

b) informativni ekran *touch screen info-display*

## Napomene

1. Powell, Dick. 1988. *Completely revised and updated. Presentation Techniques. A guide to drawing and presenting design ideas.* London & Sydney: Macdonald and Co (Publishers) Ltd., 112.
2. Olofson, Erik and Klara Sjölen. 2006. *Design Sketching.* Klipan (Sweden): Ljungberg Tryckery, 99.
- 3.a) Lewin, Tonny, with Ryan Borroff. 2003. *How to: Design Cars like a Pro. A Comprehensive Guide to Car Design from the Top Professionals.* St. Pual (MN, USA): Motorbooks International.  
b) Luković, Marko. 2006/2007. *Metode i tehnike upotrebe CAD/CAM softvera u industrijskom dizajnu i njihova primena u redizajnu kabine kamiona Eurozeta.* Magistarski rad. Mentor prof. Kosta Krsmanović. Beograd (rad se nalazi u biblioteci Fakulteta primenjenih umetnosti u Beogradu).
4. a) McNeel, Robert. 2002. *Rhinoceros. NURBS modeling for Windows. Version 3.0.Users Guide.* USA: Robert McNeel & Associates.  
b) <https://www.rhino3d.com/> (pristup: 15. 12. 2015).
5. <https://en.wikipedia.org/wiki/T-spline> (pristup: 15. 12. 2015).
6. <https://www.keyshot.com> (pristup: 15. 12. 2015).
7. *Ansys Fluent:* <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent> (pristup: 04. 02. 2016).
8. Prof. Beatrice Pulvirenti i njen saradnik Aleksandro Palmijeri autori su grafičkih prikaza CFD simulacija na slikama: 59–60, 64–67, 72–75.

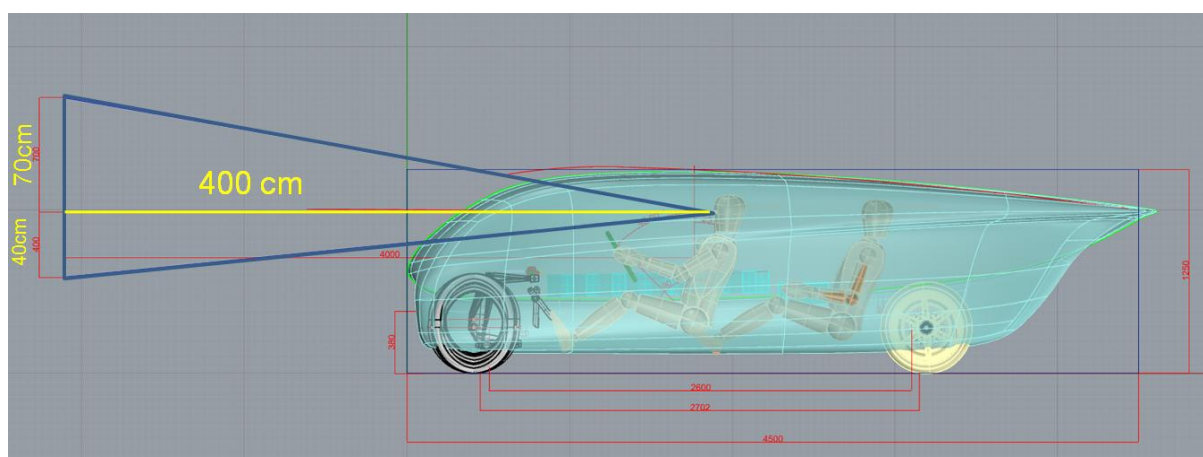
## 8. OPTIMIZACIJA PRELIMINARNOG I USVAJANJE FINALNOG REŠENJA DIZAJNA SOLARNOG AUTOMOBILA U KATEGORIJI *CRUISER*

Optimizacija preliminarnog rešenja dizajna solarnog automobila podrazumevala je moj simultani rad sa mašinskim inženjerima koji su bili zaduženi za kompjutersko 3D CAD projektovanje u parametarskim softverima. Uporedo smo radili na optimizaciji najvažnijih parametara izloženog preliminarnog (predfinalnog) dizajnerskog rešenja, koji su se odnosili na:

- 1) ugao preglednosti (vidnog polja) iz kabine automobila;
- 2) bezbednost glave putnika u automobilu tokom vožnje;
- 3) bezbednost tela putnika u automobilu tokom vožnje;
- 4) ugao skretanja prednjih točkova unutar karoserije;
- 5) završnu optimizaciju aerodinamike karoserije.

### 8.1. Ugao preglednosti (vidnog polja) iz kabine automobila

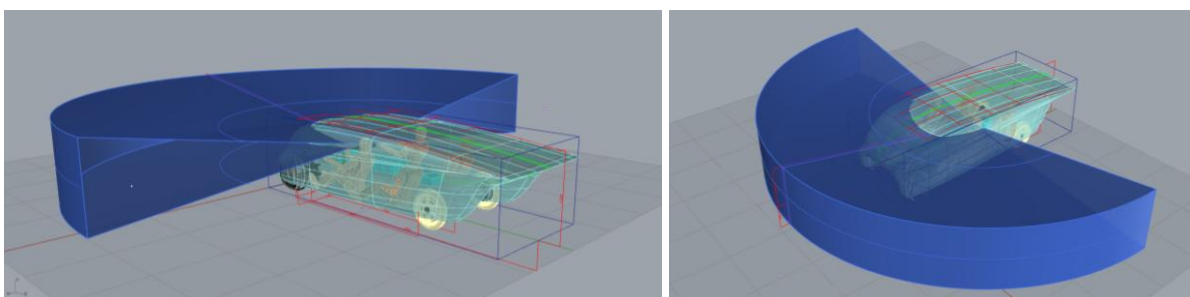
Kada sedi u normalnom položaju za vožnju, sa sigurnosnim pojasom i kacigom, vozač automobila mora imati jasan pregled dešavanja u saobraćaju ispred sebe. Prema pravilniku *WSC 2015* vozač solarnih automobila u klasama *Challenger* i *Cruiser* mora biti u stanju da tokom vožnje vidi svaku tačku između 40 cm ispod nivoa očiju i 70 cm iznad nivoa očiju na udaljenosti od 400 cm od položaja očiju vozača, pod svakim uglom napred: pravo, levo, desno (vid. slike 78 i 79). To je bio veoma važan funkcionalno-tehnički zahtev (parametar), koji se morao ispoštovati. Stoga i prozorski otvori, tj. njihova veličina i pozicija, moraju biti prilagođeni ovom zahtevu. Na osnovu svega toga trebalo je da ja uradim adekvatno dizajnersko rešenje.



Sl. 78. Pravilnikom *WSC 2015* definisan je ugao preglednosti ispred vozila od tačke oka vozača

Dodatnom proverom ugla vidljivosti utvrđeno je da je neophodno obezbediti još jedan manji deo preglednosti na prednjem delu krovne površine. U dogovoru sa inženjerskim timom, a u želji da se – iz estetskih razloga – dodatno ne povećava površina „šoferšajbne“, odlučeno je da se isprojektuje nekoliko manjih prozorskih otvora na krovnoj površini.

Tako je, radi dosledne primene parametra zadatog pravilnikom *WSC 2015* vezanih za ugao preglednosti iz kabine, morao da bude napravljen kompromis. On je rezultirao izvesnim umanjnjem ukupne površine solarnih panela (modula) na samoj krovnoj površini.

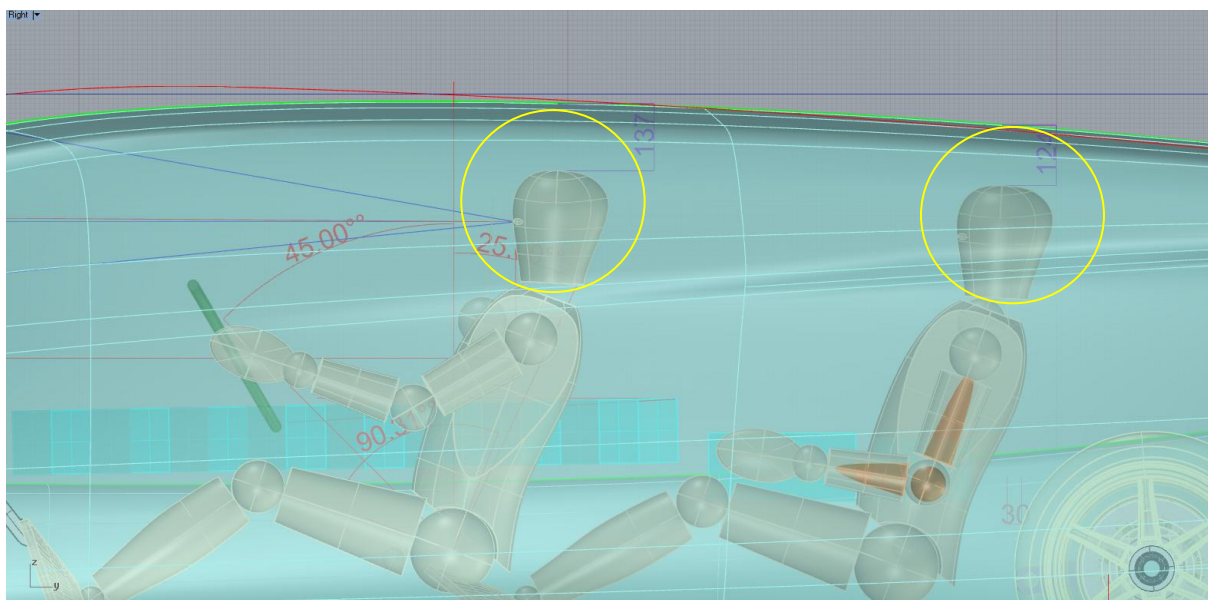


Sl. 79. Dodatna provera ugla preglednosti (vidnog polja) od  $180^{\circ}$  iz kabine sa mesta vozača

## 8.2. Bezbednost glave putnika u automobilu tokom vožnje

Pri projektovanju unutrašnjeg prostora (*package*) kabine automobila, uz primenu antropoloških mera i standarda, bilo je veoma važno proveriti da li ima dovoljno prostora za glave svih putnika u sedećem položaju (vid. sliku 80). Posebno se moralo voditi računa o tome da svi putnici moraju tokom vožnje da nose zaštitne motociklističke kacige (koje odgovarju ISO standardima). Za vreme vožnje debljina zida kacige na glavi iznosi oko tri centimetra. Neophodno je bilo zaračunati dodatno rastojanje od vrha kacige do krova vozila od minimum pet centimetara, kako je i predviđeno pravilnikom *WSC 2015*.

U dizajnerskom rešenju predvideo sam dovoljno rastojanje od temena glave do linije krova, koje se kretalo 12–14 cm, zavisno od tačke lučne površine krova (vid. sliku 81). Za takmičenja (trke) solarnih automobila u praksi se biraju vozači i putnici srednjeg ili nižeg rasta (muškog i ženskog pola). Takođe je preporučljivo da telesna masa putnika pojedinačno bude što je moguće manja jer to direktno utiče na ukupnu masu vozila. Delovanjem zakona fizike – laganiji automobil postiže veće dozvoljene brzine, uz manji utrošak električne energije.



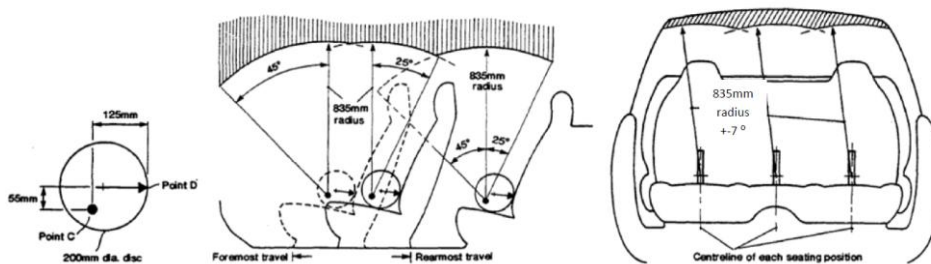
Sl. 80. 3D modeli muških figura (manekena) visine 178 cm (50%), sa propisanim prostorom za glavu



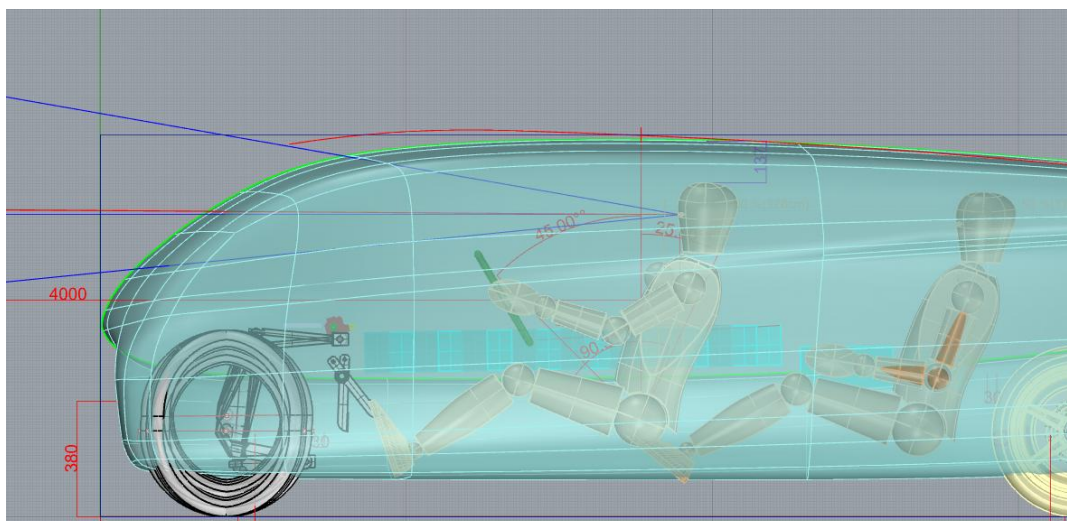
Sl. 81. Zaštitne kacige nose sva četiri člana posade u solarnom automobilu u kategoriji *Cruiser*

### 8.3. Bezbednost tela putnika u automobilu tokom vožnje

Tokom vožnje i učestvovanja u trci važno je da svi putnici budu dobro obezbeđeni sigurnosnim pojasevima za vezivanje. Pravilnikom *WSC 2015* predviđeno je da se pri naglom kočenju trupni deo tela vozača iz tačke kukova (*H-point*) sme maksimalno pomeriti unapred za  $45^{\circ}$  do zone obruča volana (upravljača). Zona nagnjaja glava putnika unapred iznosi maksimalnih  $25^{\circ}$  (vid. sliku 82). Sedalni ugao tokom vožnje svih putnika (odnosi se na ugao trupa i butina) mora da iznosi  $90^{\circ}$  (vid. sliku 83).



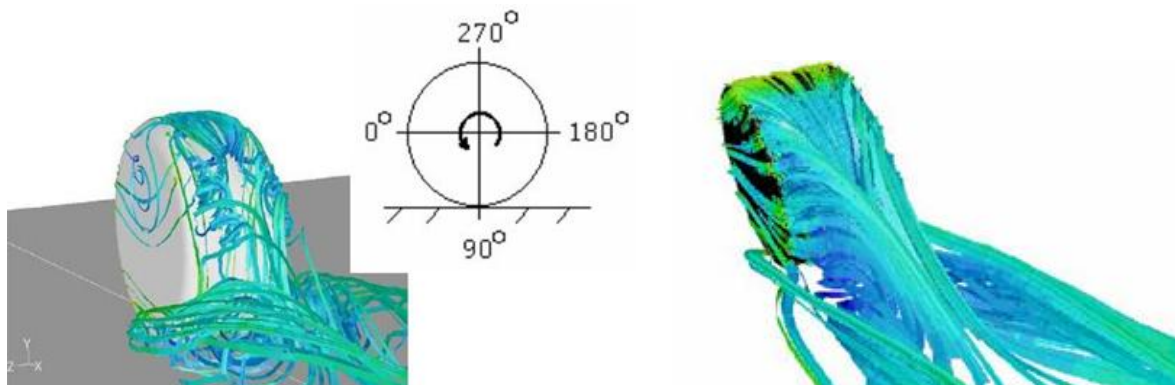
Sl. 82. Propisani bezbednosni uglovi (zone) pomeranja tela i glava putnika po pravilniku WSC 2015



Sl. 83. Provera sigurnosnih uglova kretanja tela (trupnog dela) putnika u 3D CAD softveru

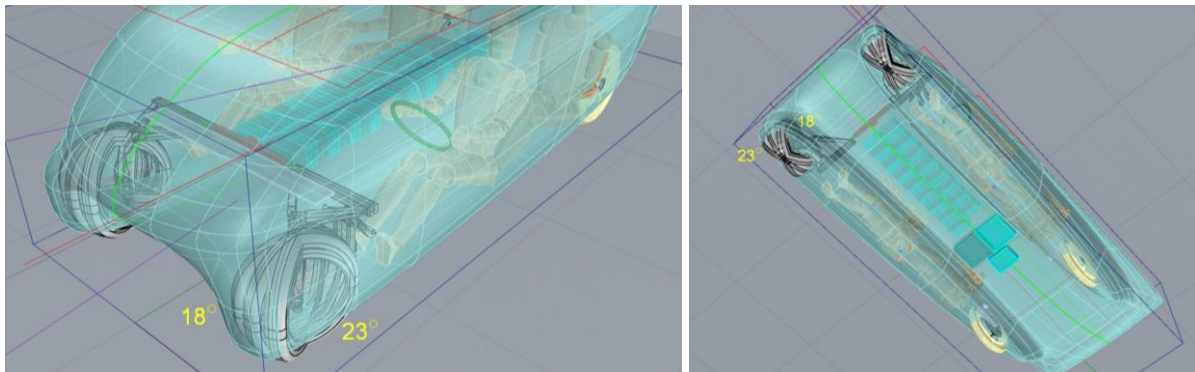
#### 8.4. Ugao skretanja prednjih točkova

U cilju efikasnije aerodinamike frontalnog (čeonog) i zadnjeg („repnog“) dela automobila, aerodinamičari iz tima preporučili su mi da prednji i zadnji točkovi budu prekriveni (zaklopljeni) oplatom od kompozitnog materijala, koja bi bila nivelisana sa površinom karoserije u određenim zonama (vid. sliku 84).



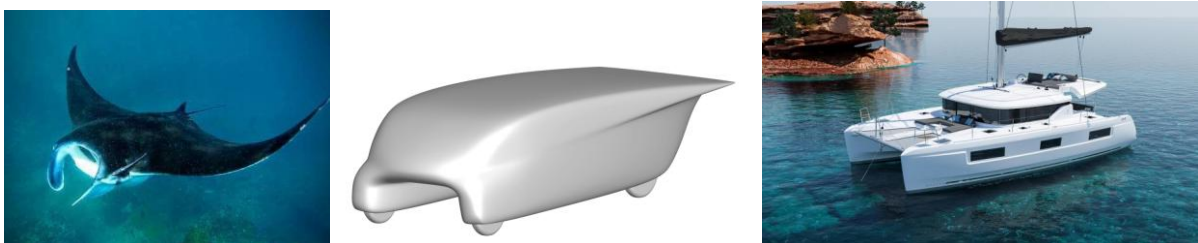
Sl. 84. CFD simulacija – opstrujavanja i turbulencije vazдушnih masa oko točka (statičnog i rotirajućeg)

Mehanizam točkova i proračun ugla skretanja zahtevali su da se oko prednjih točkova predvidi dovoljno prostora kako ne bi dolazilo do smetnji pri različitim uglovima skretanja (na levu i na desnu stranu). Proračunato je da maksimalni ugao skretanja ka spoljašnjoj strani treba da iznosi  $23^{\circ}$ , a ka unutrašnjoj strani  $18^{\circ}$  (vid. sliku 85, pod a). Ispunjavanje ovog zahteva bilo je za mene kao dizajnera jedan od najtežih zadataka zato što je slobodan prostor oko prednjih točkova pri skretanju bio izuzetno mali (skučen). U finalnom 3D modelu uspeo sam da usaglasim mehaničke funkcije i željenu aerodinamiku sa kontinuitetom čeonih spoljašnjih površina karoserije (vid. sliku 85, pod b).



Sl. 85. a) Projektovani maksimalni ugao skretanja točkova ka spoljašnjoj ( $23^{\circ}$ ) i ka unutrašnjoj strani ( $18^{\circ}$ ); b) u bočnim delovima karoserije isprojektovano je dovoljno mesta za točkove i putnike

Zbog same arhitekture projektovanog solarnog automobila u kategoriji *Cruiser*, putnici ne sede kao kod standardnog putničkog vozila već su pozicionirani u duguljastim bočnim delovima karoserije. Uzdužno, po sredini automobila, nalazi se šupljina centralnog tunela, koji je projektovan po principu venturi efekta. Iz ovih razloga dizajn karoserije solarnog automobila podseća na čeonu deo gigantske okenaske raže *Manta Ray*, kao i na brodove tipa *katamaran*, koji su konstruisani po sličnom principu (vid. sliku 86).

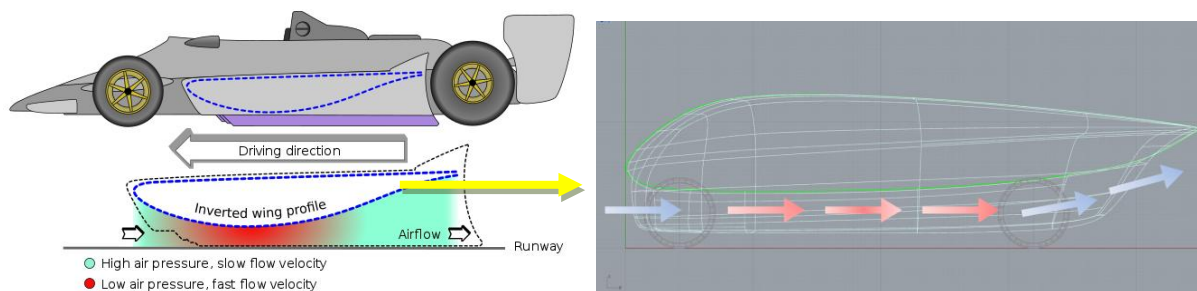


Sl. 86. Čeonu deo projektovanog solarnog automobila u kategoriji *Cruiser*: analogija oblika sa oblikom okeanske raže *Manta Ray* i sa oblikom dvotrupnog broda (tipa *katamaran*)



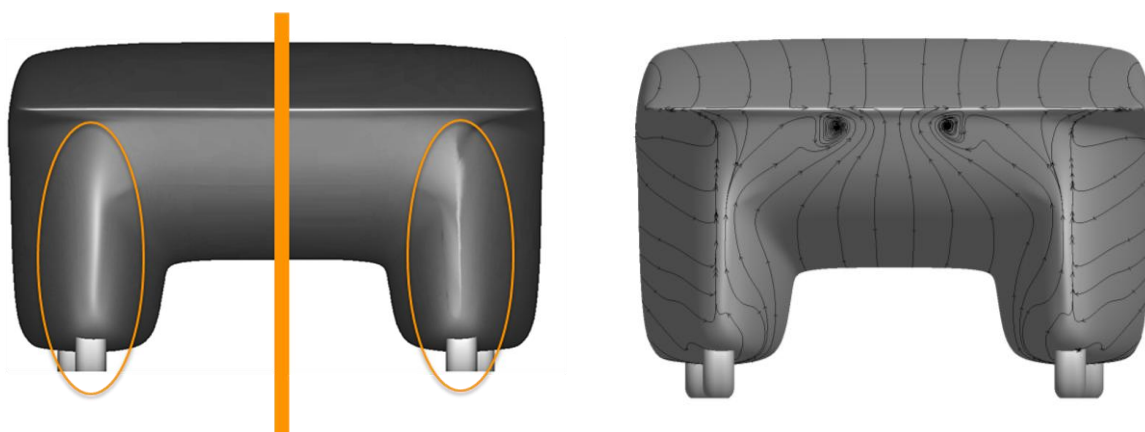
## 8.5. Završna optimizacija aerodinamike karoserije i usvajanje finalnog rešenja dizajna

Efekat obrnutog NACA profila (obrnuto avionskog krila) višestruko je primenjen u finalnoj formi i na donjim površinama karoserije automobila kako bi opstrujavanje vazdušnih masa bilo što efikasnije sa dodatnim efektom *Venturijevog tunela*. U centralnoj osi vozila postignut je venturi efekat radi omogućavanja prirodnog potiska vazdušne mase i dodatnog ubrzanja automobila (vid. sliku 87).



Sl. 87. U centralnom tunelu primenjen je obrnuti oblik NACA profila i postignut je venturi efekat

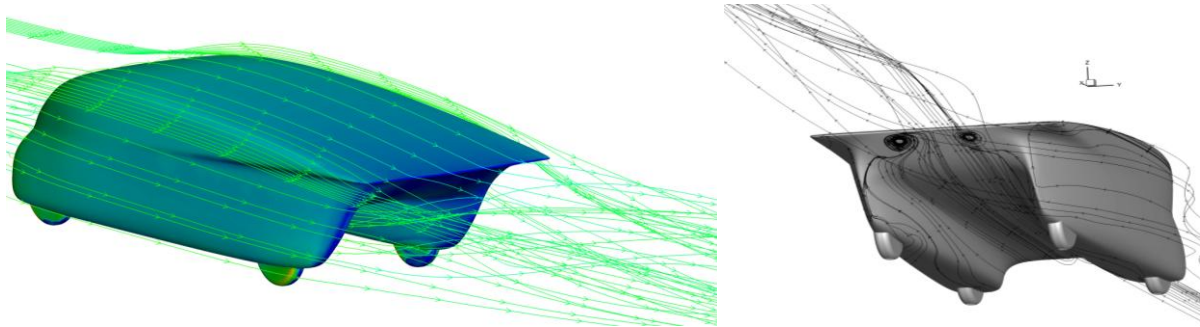
Radi postizanja još boljih rezultata vezanih za opstrujavanje vazduha na zadnjem delu automobila, tim aerodinamičara je predložio da se maksimalno (koliko je moguće) uoštre i ivice na zadnja dva dela karoserije. Kada je to učinjeno, prezet je 3D CAD model sa veoma gustim *mesh*-om u softver *Ansys Fluent*, kako bi se napravile završne CFD analize (vid. sliku 88).<sup>1</sup>



Sl. 88. Uporedni prikaz maksimalno mogućeg zaoštavanja ivica zadnjih („repnih“) delova automobila

Nivo turbulencije oko zadnjeg dela automobila sveo se na veoma mali vorteks ispod „repnog“ dela. Optimizovan volumen solarnog automobila, sa svojim maksimalno tangentsnim i

kontinualnim površinama, uz uvažavanje i implementaciju svih principa aerodinamike (oblika kapi vode, zakonitosti NACA profila i venturi efekta), doveo je do prirodnog efekta potisne sile vazdušne mase (*down-force*). To je fizička zakonitost kada vazдушna masa prati tok aerodinamičnog oblika prilepljujući se za njega i dodatno ga potiskujući (priljubljujući) u pravcu nadole, ka planarnoj statičnoj površini, tj. putu (vid. sliku 89).



Sl. 89. Grafički prikaz linija prirodnih sila potiska vazduha nadole (*down-force*)

Prihvaćeno dizajnersko rešenje bilo je podvrgnuto CFD simulacijama. Za potrebe finalne optimizacije oblika uradio sam po zahtevu aerodinamičara dodatne varijante 3D geometrije automobila, koje su imale minimalne razlike na čeonj površini i na zadnjem („repnom“) delu automobila. Na taj način došlo se do optimalnog (najmanjeg mogućeg) koeficijenta otpora vazduha (**Cd**) na modelu koji se spremao za proizvodnju, što je prikazano na sledećoj tabeli i prikazu 3D geometrije (10, 11, 15, 16) automobila (vid. sliku 90).<sup>2</sup>

		OS2016-EM4-10b			OS2016-EM4-11e			OS2016-EM4-15e			OS2016-EM4-16a			
V	$\alpha$	$F_x$	$C_d A$	$C_d$	$F_x$	$C_d A$	$C_d$	$F_x$	$C_d A$	$C_d$	$F_x$	$C_d A$	$C_d$	
(km/h)	(m/s)	(deg)	(N)	(m <sup>2</sup> )	(---)	(N)	(m <sup>2</sup> )	(---)	(N)	(m <sup>2</sup> )	(---)	(N)	(m <sup>2</sup> )	(---)
40.0	11.11	0	18.41	0.243	0.022	18.53	0.245	0.022	19.27	0.255	0.023	18.66	0.247	0.016
40.0	11.11	5	19.14	0.253	0.023	18.52	0.245	0.022	19.24	0.254	0.023	18.75	0.248	0.016
40.0	11.11	10	18.66	0.247	0.022	18.52	0.245	0.022	18.65	0.247	0.022	18.11	0.239	0.016
40.0	11.11	15	17.09	0.226	0.020	17.51	0.232	0.021	17.41	0.230	0.021	16.96	0.224	0.015
55.0	15.28	0	34.15	0.239	0.021	34.23	0.239	0.022	35.41	0.248	0.022	34.54	0.242	0.016
55.0	15.28	5	35.32	0.247	0.022	34.14	0.239	0.021	35.64	0.249	0.022	34.42	0.241	0.016
55.0	15.28	10	34.56	0.242	0.022	33.62	0.235	0.021	34.43	0.241	0.022	33.47	0.234	0.015
55.0	15.28	15	31.61	0.221	0.020	32.12	0.225	0.020	32.14	0.225	0.020	31.36	0.219	0.014
70.0	19.44	0	54.44	0.235	0.021	54.63	0.236	0.021	56.51	0.244	0.022	54.72	0.236	0.015
70.0	19.44	5	56.34	0.243	0.022	54.21	0.234	0.021	57.08	0.246	0.022	55.18	0.238	0.016
70.0	19.44	10	54.83	0.237	0.021	53.46	0.231	0.021	54.79	0.237	0.021	53.40	0.231	0.015
70.0	19.44	15	50.29	0.217	0.020	51.21	0.221	0.020	51.40	0.222	0.020	49.67	0.214	0.014
85.0	23.61	0	79.40	0.233	0.021	79.74	0.234	0.021	82.58	0.242	0.022	79.93	0.234	0.015
85.0	23.61	5	82.17	0.241	0.022	79.38	0.232	0.021	82.05	0.240	0.022	79.96	0.234	0.015
85.0	23.61	10	80.11	0.235	0.021	78.02	0.228	0.021	79.81	0.234	0.021	77.63	0.227	0.015
85.0	23.61	15	73.61	0.216	0.019	74.84	0.219	0.020	75.11	0.220	0.020	72.89	0.213	0.014

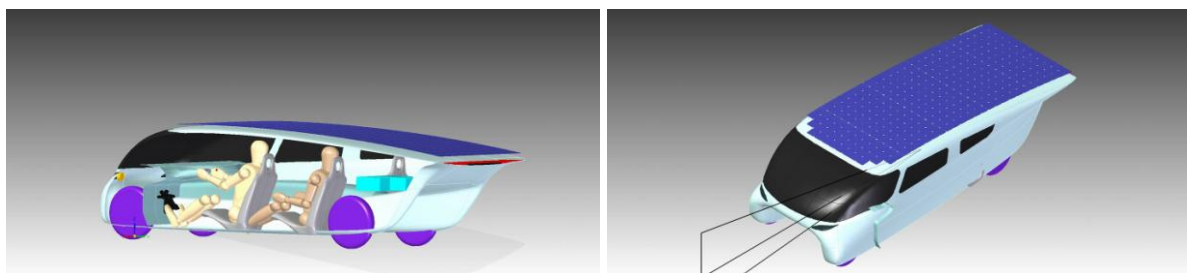
Sl. 90. Rezultati provere koeficijenta čeonog ( $C_d A$ ) i celokupnog otpora vazduha (**Cd**) variranjem unetih parametara: brzine (V), ugla ( $\alpha$ ) i sile (F); raspon **Cd**: 0.014–0.016

Posle razmatranja svih ponuđenih varijanti dizajnerskih rešenja modela solarnog automobila u kategoriji *Cruiser*, a u neposrednoj saradnji sa članovima multidisciplinarnog projektantskog tima *Onda Solare*, došlo se do tačke tzv. „zamrzavanja stila“ (*style freeze*). Svi

eksperti sa kojima sam sarađivao iz oblasti aerodinamike, mehanike i elektronike zajednički su doneli odluku da je predfinalno dizajnersko rešenje koje sam ponudio zadovoljilo sve tehničko-tehnološke zahteve po kojima smo radili. Time je usvojeno finalno dizajnersko rešenje.

Posle „zamrzavanja stila“ predao sam timovima CAD inženjera spreman površinski (*surface*) 3D model dizajna, koji je imao postavku svih 3D elemenata (vid. sliku 91), a sadržao je:

- 1) poziciju sedenja ljudskih figura visine 178 cm, koji pripadaju standardnoj grupaciji ljudi visine od 50 percentila (plus visina zaštitne kacige);
- 2) fiksiranu dimenziju površine solarnih panela;
- 3) fiksirano međuosovinsko rastojanje između prednjih i zadnjih točkova;
- 4) veličinu i poziciju prednjih i zadnjih točkova sa maksimalnim uglom skretanja;
- 5) položaj dva modula pakovanja baterija iznad centralnog tunela;
- 6) položaj elektronskih komponenti, elektromotora, konventora i elektrokontrolora;
- 7) položaj papučica gasa i kočnice;
- 8) položaj visine prednjih i zadnjih svetlosnih grupa;
- 9) definisano vidno polje po pravilniku;
- 10) poziciju bočnih vrata za ulazak i izlazak iz automobila.



Sl. 91. Površinski (*surface*) 3D model dizajna karoserije automobila i *package-a*: kreiran je u dizajnerskom softveru za istraživanje forme i stajlinga, a potom preuzet u parametarski inženjerski 3D CAD softver

Na taj način je finalizovan ceo moj šestomesečni kreativno-istraživački rad na stilskom oblikovanju spoljašnjeg oblika karoserije solarnog automobila u kategoriji *Cruiser*, prema strogim funkcionalno-tehničkim zahtevima pravilnika *World Solar Challenge 2015*.

## Napomene

1. Prof. Beatriče Pulvirenti i njen saradnik Aleksandro Palmijeri autori su grafičkih prikaza CFD simulacija na slikama: 84, 88–90.
2. a) <https://autoportal.hr/aktualno/novosti/cd-cw-i-cx-oznake-koeficijenta-otpor-zraku-koji-odreduje-aerodinamicnost-automobila> (pristup: 28. 05. 2020).  
b) <https://boljafizika.wordpress.com/2012/01/27/sila-f> (pristup: 28. 05. 2020).

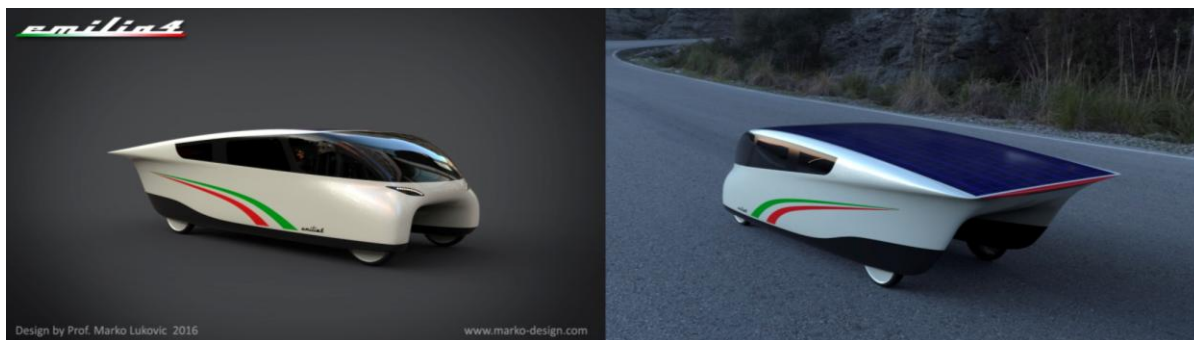
## 9. GRAFIKA PROIZVODA U FINALNOM REŠENJU DIZAJNA SOLARNOG AUTOMOBILA *EMILIA 4* U KATEGORIJI *CRUISER*

### 9.1. Grafika proizvoda i uticaj izbora boje površine tela automobila na njegovu masu

Na vizuelni identitet i prepoznatljivost dizajna automobila utiče i grafika proizvoda (raspored grafičkih elemenata na karoseriji), a pre svega izbor boje automobila. U vezi sa određivanjem boje automobila mora se uzeti u obzir nekoliko činilaca. Uporednim laserskim merenjem dva automobila empirijski je utvrđeno da – zavisno od boje – postoji veoma velika razlika u temperaturi spoljne površine vozila. Po sunčanom danu – na spoljašnjoj temperaturi vazduha od  $37\text{ C}^0$  – izmerena temperatura automobila bele boje iznosila je oko  $38\text{ C}^0$ , dok je temperatura automobila crne boje iznosila čak  $72\text{ C}^0$ .

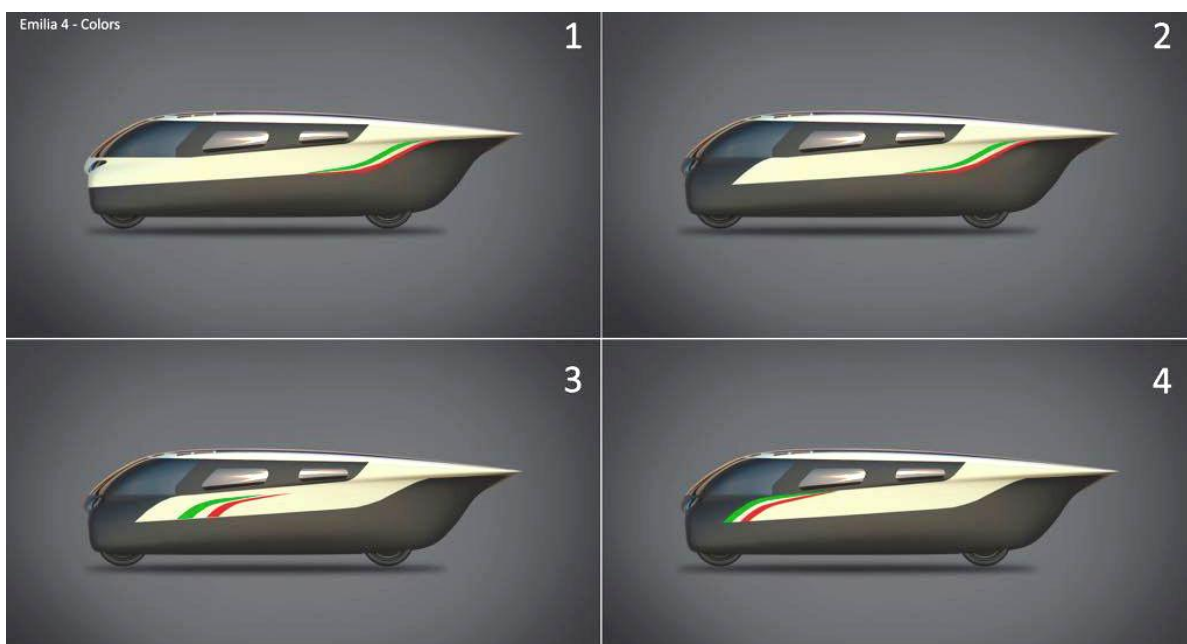
Za vreme takmičenja solarnih automobila na trasama koje prolaze žarkim predelima temperatura unutar automobila takođe je izuzetno je visoka. Na primer, tokom kretanja pustinjским predelima Australije, kada je spoljna temperatura vazduha bila oko  $45\text{ C}^0$  – temperatura unutar automobila iznosila je oko  $55\text{ C}^0$ . Prema važećim pravilima, sva četiri člana posade moraju zbog bezbednosti imati na glavi zaštitne kacige tokom cele trke, što još više povećava osećaj toplote unutar automobila. Uz to, po pravilniku *WSC 2015* bočne prozorske površine moraju biti potpuno zatvorene da bi se očuvala aerodinamičnost automobila, tako da je isključeno provetranje kabine tokom vožnje. Jedino dozvoljeno rashladno sredstvo unutar kabine bila je flaširana voda za piće. Iz svih tih razloga bilo je neophodno da se i izborom boje karoserije utiče na smanjenje temperature unutar automobila.

Da bi se pojačao vizuelni identitet i prepoznatljivost prihvaćenog dizajna prototipa solarnog automobila u kategoriji *Cruiser*, prvobitno sam predložio projektantskom timu da automobil bude potpuno bele boje, sa veoma naglašenim stilizovanim bojama italijanske zastave u obliku trkačke putanje, tj. blago savijenog luka/krivine (vid. sliku 92). Ovo estetski veoma atraktivno kolorističko rešenje bilo je predmet pune pažnje i razmatranja članova tima. Takođe se imala u vidu činjenica da bela boja apsorbuje relativno malu količinu sunčevih zraka i toplote tokom vožnje solarnog automobila.



Sl. 92. Prvobitno kolorističko rešenje (bela boja) karoserije solarnog automobila *Emilia 4*

I pored atraktivnosti ovog prvobitnog rešenja, od njega se ipak odustalo jer je izračunato da bi nanos bele boje uticao na ukupnu masu automobila preko prihvatljive mere. Kako telo (*car body*) solarnog automobila *Emilia 4* ima površinu od oko 22 m<sup>2</sup> (bez prozorskih površina), a sâm nanos (premaz) bele boje po kvadratnom metru ima masu od oko 450 g, ukupna masa automobila ofarbanog belom bojom bila bi povećana za 10 kg. To je ocenjeno kao prekomerno povećanje ukupne mase jer kod solarnog tipa automobila ušteda svakog kilograma u ukupnoj masi doprinosi boljim voznim karakteristikama i performansama automobila. Stoga je tim odlučio da se bela boja u finalnom dizajnu automobila *Emilia 4* redukuje na što manju površinu – onoliko koliko je neophodno da apsorpcija sunčevih zraka i toplote bude u tolerantnim granicama. Naknadno sam uradio četiri nova rešenja grafike proizvoda u vidu dinamičnih belih segmenata, sa obaveznom implementacijom stilizovane italijanske zastave (vid. sliku 93).



Sl. 93. Četiri predloga kolorističkog rešenja karoserije solarnog automobila *Emilia 4*

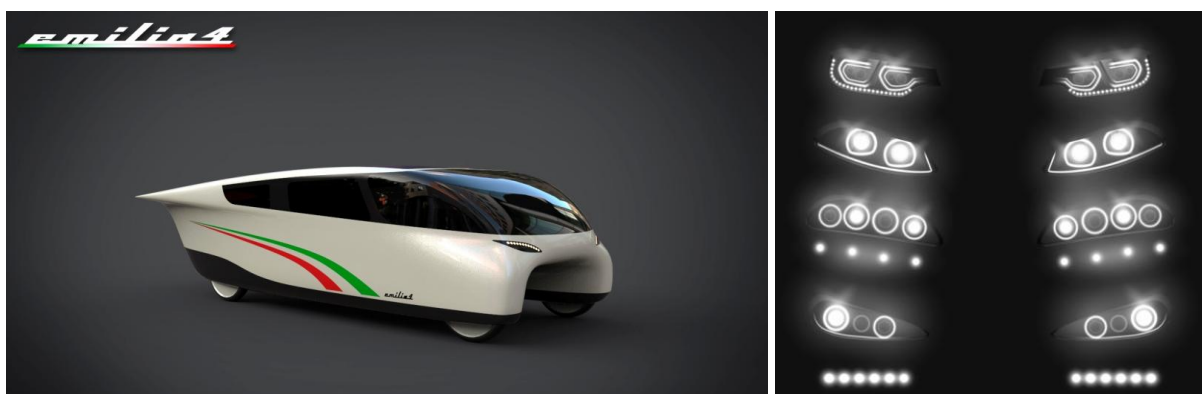
Glasanjem svih članova tima *Onda Solare* odabrano je ponuđeno rešenje broj 3, gde dominira tamnosiva boja koja potiče od samog materijala karoserije – karbonskih vlakana (vid. sliku 94). Po oceni tima, ovo rešenje doprinosi vizuelnoj dinamici automobila jer njegova silueta izgleda izduženija i „zategnutija“. Preraspodelom belih i tamnih površina automobil izgleda niži, kao što je to slučaj i sa trkačkim sportskim automobilima. Na krovu automobila, uz solarne panele, ostala je bela boja zato što ona, u odnosu na druge boje, manje privlači jaku sunčevu svetlost.



Sl. 94. Usvojeno i primenjeno kolorističko rešenje karoserije solarnog automobila *Emilia 4*

## 9.2. Izbor homologizovanih prednjih i zadnjih svetala iz kataloga proizvođača

Prvobitna ideja i želja projektantskog tima bila je da se u automobil ugrade LED prednja svetla u tačkastom linijskom obliku i rasporedu, što je predstavljalo i veoma atraktivno estetsko rešenje (vid. sliku 95). Time bi tzv. grafika svetla doprinela prepoznatljivom izgledu ovog solarnog automobila.



Sl. 95. Prvobitni predlozi oblika i rasporeda prednjih svetala na automobilu *Emilia 4*

Ipak, moralo se odustati od tog prvobitnog rešenja jer homologacijski zahtevi iz pravilnika WSC 2015 nalažu upotrebu standardnih optičkih elemenata, koji su atestirani i ispunjavaju zahteve osvetljavanja i vidljivosti kao kod standardnih automobila serijske proizvodnje. Tako je odlučeno da se ugrade homologizovana svetla (*carry-over* pozicije) iz kataloga poznatog proizvođača HELLA (Nemačka). Međutim, bilo je neophodno izabrati optičke svetlosne elemente kružnog oblika, sa što manjim prečnikom kruga, kako bi se uklopili u namenski dizajnirano izduženo kućište fara bademastog oblika. U katalogu firme HELLA pronađene su upravo takve svetlosne optičke grupe: prednja svetla („farovi“) i pokazivači pravca („žmigavci“), tehnički atestirani na sve atmosferske uslove korišćenja (vid. sliku 96). Stoga su svetlosne optičke grupe bez teškoća ugrađene u postojeća kućišta solarnog automobila.



**HELLA**  
Technology with Vision  
<https://catalog.hella.com/>

**MARKER AND SIGNAL LAMPS**

**83MM ROUND LED - FRONT**

Part Numbers	2108-GMD	12 VOLT DC
	2108-GMD24V	24 VOLT DC
Mounting	Flush mount. Single bolt 1/4" stainless UNC thread. Nut and washer supplied.	
Power Consumption	P/N 2108-GMD	P/N 2108-GMD24V
	Safety DayLights™: 4W	4W
	Front positions: 1W	1W
	Front direction indicator: 3W	4W
Protection	Reverse polarity and transient spike circuit protection. IP 6K7 (Protection against dust and temporary water immersion) IP 6K9K (Protection against dust and high-pressure/steam jet cleaning)	
Cable Length	Pre-wired with 2.5m of sheathed multi-core cable.	
Lens Material	Orilam®	
Compliance	ADR 6/00, Cat 1 5854	ADR 49/00 ECE R4/01
		ADR 75/00 ECE R37/02
		ECE R87/00



**83mm Round LED Safety DayLights™/Front Position /Front Direction Indicator Lamp**

This LED combination lamp features an integrated Safety DayLight™, front position indicator and front position function. The lamp features a traditional round lens that illuminates with a distinctive ring of white LEDs when used as a Safety DayLight™. This lamp eliminates the need for installation of multiple lamps.



**83MM LAMP FUNCTIONS**





LED Safety DayLights™    Front position    Front direction indicator

Part Number	2107	PACK OF 2
	2107BULK	PACK OF 10
	2107CLR (Clear lens)	PACK OF 2
	2107CLR BULK (Clear lens)	PACK OF 10
Mounting	Flush mount. Single bolt 1/4" stainless UNC thread. Nut and washer supplied.	
Voltage	Multi-volt™ for optimum brightness at input voltages from 9 to 33 volts.	
Power Consumption	4W	
Protection	Reverse polarity and 5000-watt Transient Voltage Suppressor (TVS) IP 6K7 (Protection against dust and temporary water immersion) IP 6K9K (Protection against dust and high-pressure/steam jet cleaning)	
Cable Length	Pre-wired with 2.5m of sheathed multi-core cable.	
Compliance	ADR 6/00, Cat 1	



**83mm Round LED Front Direction Indicator Lamp**

Compact, low profile LED front direction indicator fitted with amber polycarbonate lens. Fully sealed to withstand high-pressure washing.




P/N 2107CLR

Sl. 96. Iz kataloga nemačkog proizvođača HELLA:

- 1) okruglo LED bezbednosno svetlo sa tri funkcije:
  - a) dnevno svetlo; b) prednje poziciono svetlo; c) prednji pokazivač pravca (prečnika 83 mm);
- 2) prednji okrugli pokazivač pravca (prečnika 83 mm)

### 9.3. Fotorealistična 3D vizuelizacija (digitalni rendering) solarnog automobila

Poslednja i ujedno omiljena faza svakog dizajnera jeste izrada foto-realističnih prikaza (3D vizuelizacija – renderinga) finalnog proizvoda. Uz pomoć savremenog softvera za 3D materijalizaciju i vizuelizaciju i njegovih brzih postupaka postavljanja virtuelne scene (*HDRI imaging*) – uradio sam više virtuelnih prikaza dizajniranog solarnog automobila, i to u različitim realnim ambijentima, uz simulirana dnevna i noćna osvetljenja (vid. sliku 97).



Sl. 97. Virtuelni prikazi (rendering) solarnog automobila *Emilia 4*: a) na trgu *Piazza Maggiore* u Bolonji; b) ispred kompanije *Metal T.I.G.*; c) na asfaltom putu; d) na putu kroz pustinjski predeo



## 10. INŽENJERSKO PROJEKTOVANJE I PROIZVODNJA PROTOTIPA SOLARNOG AUTOMOBILA *EMILIA 4*

### 10.1. Priprema inženjerskog 3D CAD modela za proizvodnju

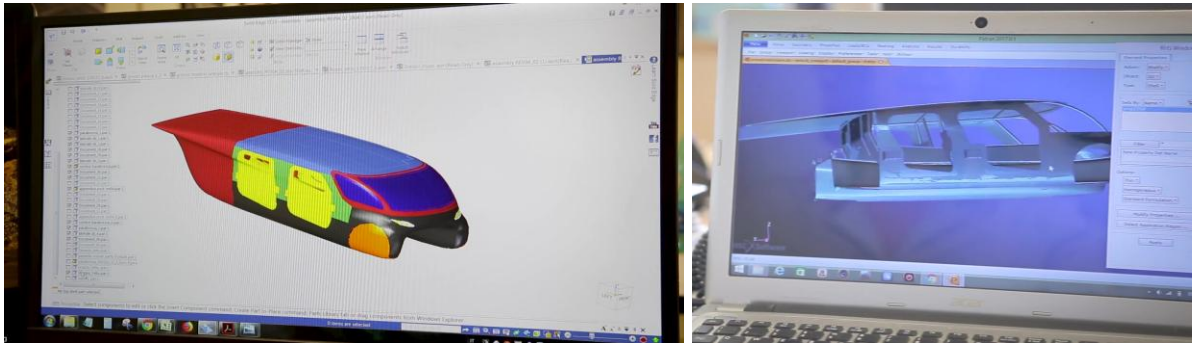
Prvi korak pred proizvodnju prototipa solarnog automobila *Emilia 4* predstavljala je detaljna inženjerska i konstruktorska razrada usvojenog rešenja, koja je obuhvatala:

- 1) predaja usvojenog rešenja iz 3D softvera za istraživanje dizajna u specijalizovani parametarski 3D CAD inženjerski softverski sistem;
- 2) detaljno definisanje spoljnog oblika celokupnog sklopa (*assembly*) solarnog utomobila;
- 3) definisanje oblika svih sastavnih elemenata sklopa automobila i načina njihovog povezivanja i montaže;
- 4) izradu probne makete u razmeri 1:10 u tehnici *rapid-prototyping*;
- 5) izbor homologacijski atestiranih ugradnih optičkih elemenata (*carry-over* pozicija);
- 6) uporednu proveru i uklapanje unutrašnjih mehaničkih i elektronskih sistema;
- 7) uporednu proveru antropometrije u odnosu na vidno polje i fizičke komande;
- 8) pripremu 3D CAD-CAM za izradu kalupa (alata).

### 10.2. Izrada detaljnog 3D CAD modela i priprema za proizvodnju

Na osnovu mog 3D modela dizajna koji sam predao, timovi CAD inženjera nastavili su projektovanje finalne konstrukcije solarnog automobila (vid. sl. 98). To je podrazumevalo sledeće faze rada:

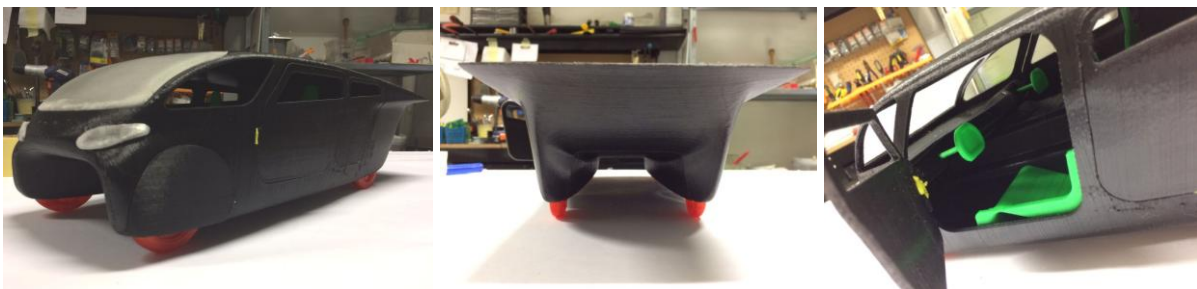
- 1) definisana je debljina zidova školjke na osnovu proračuna kompozitnih materijala;
- 2) urađeno je segmentiranje delova koji čine finalni sklop (*assembly*);
- 3) isprojektovana je konstrukcija unutrašnjeg prostora (kabina);
- 4) urađena je analiza krutosti elemenata materijala i njihove veze;
- 5) na osnovu prostora za putnike, isprojektovana su ulazna vrata;
- 6) pripremljene su spojevi i veze prozorskih površina sa karoserijom;
- 7) proračunat je prostor za točkove i elektromotore koji ih pokreću;
- 8) pripremljen je prostor za mehaničke i električne instalacije sa baterijama;
- 9) ostavljene su priprema ulegnuća za instalaciju solarnih panela;
- 10) isprojektovani su bezbednosni elementi tokom vožnje (*roll bar cage* i pojasevi)
- 11) definisane su svetlosne komponente.



Sl. 98. Segmentiranje svih delova karoserije koji čine finalni sklop 3D CAD (*assembly*) automobila

### 10.3. Izrada i namena umanjenih modela (maketa) solarnog automobila

Proces izrade prototipa solarnog automobila *Emilia 4* odvijao se u nekoliko faza, slično procesu proizvodnje prototipova standardnih automobila serijske proizvodnje. Kako bi se pre same izrade prototipa automobila (u realnoj veličini) proverilo uklapanje isprojektovanih delova karoserije i elemenata enterijera, prvo su u tehnici brze izrade prototipa (*rapid-prototyping*) urađeni umanjeni modeli automobila (makete) u razmeri 1:10 (vid. sliku 99). Ovom tehnikom brze izrade prototipa urađena je simulacija: glavnih delova tela karoserije; četvoro vrata sa pokretnim vezama (šarkama) za karoseriju; prednjih i zadnjih točkova; prednje svetlosne grupe; volana i sedišta; prednjeg vetrobranskog stakla.



Sl. 99. Maketa automobila za proveru elemenata sklopa urađena je na 3D (FDM) printeru

Da bi se izradila maketa automobila, mora se koristiti tzv. master model, napravljen od veštačkog epoksidnog drveta – *epowood* (vid. sliku 100, pod a). Sama maketa automobila urađena je od karbonskih vlakana, ne poseduje detalje već samo bazični volumen i čiste površine (vid. sliku 100, pod b). U tom obliku podvrgnuta je kompjuterskim aerodinamičkim ispitivanjima u vazдушnom tunelu – da bi se proverila aerodinamičnost automobila i koeficijent otpora. Ispitivanja su potvrdila nizak koeficijent otpora vazduha u vazдушnom tunelu (vid. sliku 100, pod c).



Sl. 100. a) Delovi master modela od veštačkog drveta (*epowood*) za izradu makete automobila; b) maketa automobila – služi za proveru aerodinamičnosti automobila i koeficijenta otpora vazduha; c) kompjuterska aerodinamička ispitivanja u vazдушnom tunelu pomoću makete automobila.

#### 10.4. Korišćeni materijali u postupku izrade solarnog automobila *Emilia 4*

Fizički delovi (elementi sklopa) budućeg solarnog automobila *Emila 4* izrađeni su od različitih materijala koji imaju malu masu, a veliku čvrstoću i otpornost. Za izradu delova karoserije, kao i unutrašnjih elemenata, korišćeni su sledeći materijali: veštačko drvo (*epowood*), pogodno za brzu obradu; izuzetno lagani kompozitni materijali od karbonskih (ugljeničnih) vlakana (*carbon-fibre*); kompozitne ploče od nomeksa (*nomex*), koji je izuzetno otporan na plamen i visoke temperature; polikarbonatska „stakla“ visoke providnosti; titanijum, koja je izuteno čvrst i lagan metal (vid. sliku 101). Zbog navedenih svojstava ovi materijli se odavno koriste u avioindustriji i u proizvodnji trkačkih sportskih automobila.<sup>1</sup>



Sl. 101. a) Karbonska vlakna i kompozitni materijali; b) ploče od nomeksa sačaste strukture (visok stepen čvrstoće i savitljivosti); c) kupola avionske kabine urađena od prozirnih polikarbonatskih masa

#### 10.5. Postupak izrade master modela i kalupa-alata za izradu delova karoserije

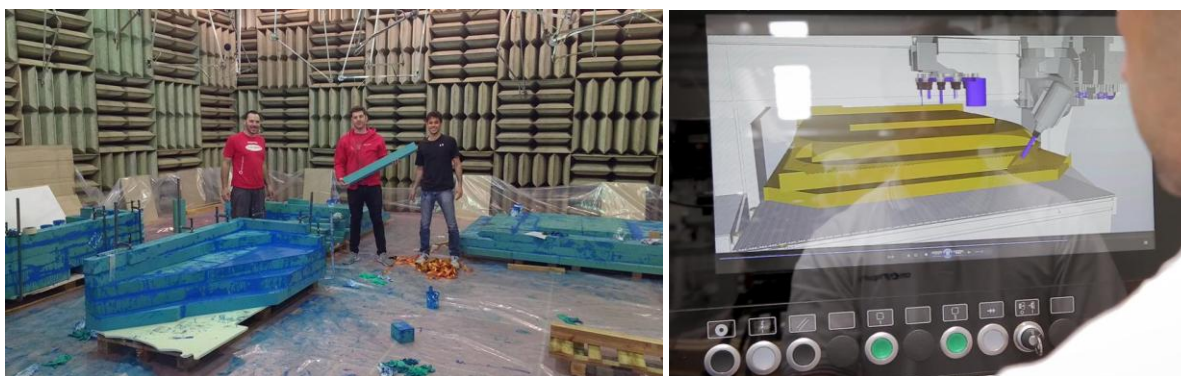
Izrada detaljnog 3D CAD modela i detaljna razrada konstrukcije sklopa automobila (prema izabranoj tehnologiji i načinu izrade alata-kalupa), kao i izrada master modela od *epowood*-a (primenom 3D CAD projektovanja u softveru *Solid Works*), poverena je konzorcijumu *SCM group S.p.A.* u gradu Rimini, dugogodišnjem poslovnom partneru tima *Onda Solare* (vid. sliku 102). Stručnjaci ovog konzorcijuma angažovani su na projektovanju i proizvodnji velikih delova kalupa-alata na tzv. CNC mašinama (*Computer Numerically Controlled – CNC*). Inače, *SCM Group S.p.A.*

je gigant u tehnologiji za obradu širokog spektra materijala: drvo, plastika, staklo, kamen, metal i kompozitni materijali.<sup>2</sup>



Sl. 102. Projektantski i proizvodni pogoni kompanije *SCM Group S.p.A.* u gradu Rimini

Početni korak u izradi delova karoserije predstavlja priprema blokova veštačkog drveta (*epowood*) u potrebnoj veličini, od kojih će moći da se naprave komadi master modela na CNC mašini-glodalici (vid. sliku 103, pod a). Pošto veštačko drvo ima veoma jaku gustinu i čvrstoću, a malu masu, CNC glodalica veoma efikasno obrađuje *epowood*, tj. u stanju je da u njemu brzo „izmodeluje“ (izdubi) zadatu površinu ili 3D oblik. Nakon prijema 3D geometrije iz parametarskog CAD softvera – operater je u specijalnom CAM (*Computer Aided Manufacturing/Modeling*) softveru zadao program za automatizovanu izradu modela na CNC mašini (vid. sliku 103, pod b).



Sl. 103. a) Blokovi veštačkog drveta za dalju obradu; b) program za izradu 3D modela na CNC mašini

Na osnovu programa koji je CNC operater zadao (a koji stalno uživo prati i kontroliše), prvo se pristupa izradi fizičkog master modela. Za ove potrebe korišćene su CNC mašine koje imaju tro-osno i peto-osno pomeranje glave, sa glodalima različitih dimenzija i brzine rada (vid. sliku 104).



Sl. 104. Izrada fizičkog master modela na CNC mašinama u proizvodnim pogonima *SCM group S.p.A.*

Nakon izrade, delovi master modela (različitih dimenzija) impregnirani su (presvučeni su) tankim slojem želatinske mase plave boje, takozvanim „odvajanjem“. Da bi se dobila što glatkija finalna površina komada, neophodno je dodatno mašinsko šmirglanje, kao i krajnje fino ručno poliranje površinskog sloja master modela (vid. 105). Na pripremljene komade master modela nanesen je laminirani kompozitni materijal od karbonskih vlakana i smole.



Sl. 105. Priprema i poliranje delova master modela za delove karoserije od karbonskih vlakana

Iz ovako pripremljenih master modela izvučeni su finalni komadi, koji su potom izloženi procesu pečenja (stvrđnjavanja) u specijalnoj vrsti industrijske pećnice (*autoklav*) velikih gabarita. To je obavljeno u firmi *Metal T.I.G. S.r.l.*, i to u njenom pogonu *Grafiti Compsitti*, koji je upravo specijalizovan za izradu komada od kompozitnih materijala (ugljeničnih vlakana) u mestu Kastel San Pjetro Terme, kraj Bolonje.<sup>3</sup> Oko prostora za baterije i elektroinstalacije postavljeni su paneli od kompozitnog materijala sa specifičnom saćastom strukturom – nomeksa, koji je izuzetno otporan na plamen i visoke temperature (vid. sliku 106).



Sl. 106. Proces pečenja komada karoserije od karbonskih vlakana u specijalnoj pećnici *autoklav* i postavljanje panela od vatrootpornog nomeksa oko prostora za baterije i elektroinstalacije

Pošto je tim *Onda Solare* u svojim proračunima nastojao da konačna masa automobila *Emilia 4* bude što manja, odlučeno je da elementi poput felni točkova, volana, pedala gasa i kočnica budu izrađeni od karbonskih vlakana ili lagane legure titanijuma (vid. slike 107 i 108).



Sl. 107. Izrada felni točkova automobila od karbonskih vlakana



Sl. 108. Gruba konstrukcija volana sa komandama i mehanizam pedala gasa i kočnice od legure metala

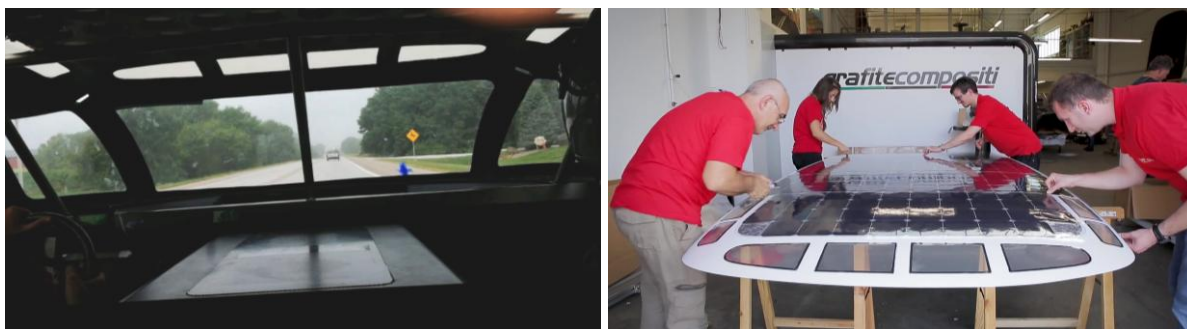
## 10.6. Sklapanje (asembliranje) delova karoserije solarnog automobila *Emilia 4*

Nakon izrade svih pojediničanih elemenata sklopa (delova) karoserije, u firmi *Metal T.I.G.* pristupilo se njihovom fizičkom sklapanju (asembliranju) i završnim radovima, koji su obuhvatali ugradnju mehaničkih sklopova, elektrokomponenti i drugih delova (vid. slike 109).



Sl. 109. Proveravanje sastava segmenta i unutrašnjih delova karoserije automobila i njihovo sklapanje

Posebna pažnja posvećena je krovnom delu karoserije. Ostavljeni su mali krovni prozori kako bi se obezbedio što veći ugao vidljivosti iz kabine. Pored toga, na krovnom delu karoserije ostavljena su udubljenja (ležišta) za pozicioniranje solarnih ćelija (vid. sliku 110).



Sl. 110. Krovni prozori i uklapanje solarnih panela u isprojektovana ležišta na krovnoj površini

Bilo kakav veći otvor (šupljina) dramatično bi remetio aerodinamiku čeonu površine automobila. Zato su specijalno bili isprojektovani usisni otvori za vazduh malih dimenzija, koji su pozicionirani na A-stubu kabine. To omogućava efikasan ulazak svežeg vazduha u kabinu, a ne remeti mnogo aerodinamičnost čeonog dela solarnog automobila (vid. sliku 111).



Sl. 111. Pozicija usisnih kanala (otvora za dopremanje vazduha u kabinu)

Elektroinženjeri su angažovani na razvoju softverskih rešenja za elektronske komponente i na izradi električnih komponenti i elektromotora, kao i na konstrukciji pakovanja baterija. Testiranje elektronskih komponenti i sklapanje električnih instalacija vršeno je kompjuterski, a na oba zadnja točka bio je ugrađen po jedan elektromotor snage 4 kW (vid. sliku 112). Ugradnja zadnje osovine i uklapanje elektronike zahtevali su izuzetnu preciznost, kao i mehaničko povezivanje sklopa točka, a nožne komande su potom pažljivo testirane (vid. sliku 115). Takođe je testiran i ceo prostor unutar kabine za četiri člana posade automobila (vid. sliku 113). Za njih su morali da budu ugrađeni sigurnosni pojasevi.



Sl. 112. Testiranje elektronskih komponenti, sklapanje električnih instalacija i pogon zadnjih točkova



Sl. 113. Ugradnja zadnje osovine i uklapanje elektronike, sklop točka i testiranje nožnih komandi

Kao što je rečeno, za ugradnju prednjih i zadnjih homologizovanih *carry-over* pozicija (svetlosnih grupa) korišćeni su standardni atestirani proizvodi proizvođača *HELLA* (vid. sliku 114).



Sl. 114. Ugradnja i provera prednjih i zadnjih atestiranih optičkih svetlosnih grupa

Usledilo je farbanje željenih fragmenata karoserije belom farbom i izvršena je ugradnja u karoseriju providnih prozorskih površina od polikarbonatskih masa (vid. sliku 115).



Sl. 115. Priprema karoserije za farbanje i ugradnja prozorskih površina od polikarbonatskih masa

Vrata od karbonskih vlakana postavljena su na B-stubu karoserije (vid. sliku 116). Na bele površine karoserije postavljanje su samolepljive grafičke aplikacije: boje italijanske zastave i oznaka vozila (simboličan broj 559). Ovim je, na osnovu usvojenog dizajnerskog rešenja i projektne dokumentacije, uz rad svih angažovanih na realizaciji projekta – završen ceo proces izrade novog solarnog automobila *Emilia 4* u kategoriji *Cruiser* (vid. sliku 117).





Sl. 116. Postavljanje laganih vrata od karbonskih vlakana na predviđene veze na B-stubu karoserije



Sl. 117. Sklopljeni novi solarni automobil *Emilia 4*, koji izlazi iz proizvodnog pogona na gradske ulice

### 10.7. Probna vožnja i testiranje novog solarnog automobila *Emilia 4*

Iz proizvodnog pogona kompanije *Metal T.I.G.* novi solarni automobil *Emilia 4* izvezen je na ulice gradića Kastel San Pjetro Terme. Usledile su standardne probne vožnje sa detaljnim testiranjem funkcija svih mehaničkih i električnih sklopova ovog novog automobila (vid. sliku 118). Nakon pozitivnih rezultata izvršenih testiranja – novi solarni automobili *Emilia 4*, u kategoriji *Cruiser*, bio je spreman za prvo javno predstavljanje i učešće na svetskim takmičenjima (trkama) solarnih automobila.



Sl. 118. Testiranje solarnog automobila *Emilia 4* tokom probnih vožnji (Kastel San Pjetro Terme)

## 10.8. Tehničke karakteristike solarnog automobila *Emilia 4* u kategoriji *Cruiser*

U zvaničnom katalogu udruženja i italijanskog takmičarskog tima *Onda Solare* koji je pratio javno predstavljane solarnog automobila *Emilia 4* dati su podaci o tehničkim karakteristikama ovog automobila na italijanskom i engleskom jeziku. Ovde se ti podaci citiraju u prevodu na srpski jezik.

<b>Dimenzije vozila:</b> Dužina: 4.610 mm / Širina: 1.775 mm / Visina: 1.230 mm / Međuosovinsko rastojanje: 2.772 mm / Masa praznog automobila 251 kg + baterije 85 kg = 336 kg
<b>Aerodinamične osobine:</b> Prednja površina: 1,60 m <sup>2</sup> / Aerodinamički koeficijent (Cd): 0,20
<b>Performanse:</b> Maksimalna brzina: 100 km/h / Potrošnja (pri 55 km/h): 23 Wh/km / Samostalno trajanje baterije (pri brzini od 55 km/h): približno 750 km
<b>Fotonaponski solarni paneli (Photovoltaic PV):</b> Solarne ćelije: SunPover E60 / Tip ćelije: monokristalni silicijum / Maksimalna efikasnost ćelije (na temperaturi od 25°C): 24% / Ukupan broj ćelija: 326 / Ukupna površina solarnih panela: 5 m <sup>2</sup> / Maksimalna snaga panela: 1.100 W
<b>Pretvarač (konvertor) za fotonaponski panel – tačka maksimalne snage Tracker (MPPT):</b> Tipologija: Boost Converter, distribuirana generacija / Nazivna snaga u jednom stepenu: 200 W / Efikasnost: max. 98% / Konstruktor konvertora: Univerzitet u Bolonji
<b>Baterije:</b> Tip i model ćelije: litijum-jonski – LiNiCoAlO <sub>2</sub> - Samsung INR18650-35E / Nominalni kapacitet ćelije: 3,4 Ah / Konstrukcija baterija: Univerzitet u Bolonji / Konfiguracija paketa: 2 x 48P14S / Ukupan broj ćelija: 1.344 / Nominalni napon paketa: 331,2 Ah / Ukupna energija: 16.1 kWh / Izgradnja sistema za upravljanje baterijama: Univerzitet u Bolonji / Tip izjednačavanja: aktivan / Ukupna težina pakovanja (sa kontejnerom): 85 kg / Pozicioniranje baterija: centralni tunel
<b>Motori:</b> Konstruktor motora: Univerzitet u Bolonji / Tipologija: Sinhrona mašina, trajni magneti (SPMSM) sa spoljnim površinskim rotorom / Nominalna snaga (x1): 1.300 W / Maksimalna snaga (x1): 3.000 W / Nominalni obrtni momenat (x1): 35 Nm / Maksimalni obrtni momenat (x1): 125 Nm / Efikasnost: 97% / Broj ugrađenih motora: 2 – na zadnjim točkovima
<b>Konvertor solarne energije:</b> Konstrukcija: Univerzitet u Bolonji / Tip: trofazni konvertor, kontrola orijentisana na teren / Maksimalna struja (x1): 200 ARMS / Efikasnost: 98%
<b>Sistem upravljanja vozilom:</b> Konstrukcija: Univerzitet u Bolonji / Tip: kontrola vuče i upravljanje / Funkcije kontrole vuče: vozač bira raspored pedala i tempomat ( <i>cruise-control</i> ) / Funkcije kontrole napajanja: ograničenje vučne snage / Zaštitne funkcije: motor, konvertor, baterija / Komunikacioni sistem: 5 linija CAN 1Mbps / Telemetrija: dvosmerno na lokalnoj WI-FI (bežičnoj) mreži / Korisnički interfejs: komande na volanu i informativni ekran osjetljiv na dodir ( <i>touch screen info-display</i> ) od 12 " (inča)

## Napomene

1. O svim navedenim materijalima videti izabranu literaturu i izvore:

- Horvath, Johan. 2014. *Mastering 3D Printing (Technology in Action)*. New York: Apress.
  - Frauenfelder, Mark (Ed.). 2014. *Ultimate Guide to 3D Printing*. Sebastopol: Maker Media. 2014.
  - Lipson, Hod. 2013. *Fabricated: The New World of 3D Printing*. Indianapolis: John Wiley & Sons.
  - Xiao-Su Yi, Shanyi Du, Litong Zhang (Eds.). 2018. *Composite Materials Engineering. Volume 1. Fundamentals of Composite Materials*. Beijing (Chemical Industry Press) & Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. (eBook).
  - Xiao-Su Yi, Shanyi Du, Litong Zhang (Eds.). 2018. *Composite Materials Engineering. Volume 2. Different Types of Composite Materials*. Beijing: Chemical Industry Press) & Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. (eBook).
  - Thakur, Vijay Kumar, Manju Kumari Thakur and Michael R. Kessler (Eds.). *Handbook of Composites from Renewable Materials. Volume 6. Polymeric Composites*. Hoboken (New Jersey, USA): John Wiley & Sons, Inc. (eBook).
  
  - Milica Antić, „Kompozitni materijali / Composite Materials“, *Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, br. 1/2016, Beograd, 2016, str. 19–28. <https://pdfslide.tips/documents/antic-milica-dipl-ing-1-kompozitni-materijali-scindeks-niti-obicno> (pristup: 28. 05. 2018).
  - <https://www.dupont.com/brands/nomex.html> (pristup: 14. 05.2017).
  - <https://en.wikipedia.org/wiki/Nomex> (pristup: 14. 05.2017).
  - <https://www.creativemechanisms.com/blog/everything-you-need-to-know-about-polycarbonate-pc>
  - <https://www.rsc.org/periodic-table/element/22/titanium> (pristup: 14. 05.2017).
2. [www.scmgroup.com](http://www.scmgroup.com) (pristup: 25. 03. 2016).
3. a) <http://www.metaltig.it> b) <http://www.grafitecompositi.it> (pristup: 25 03.2016).

## 11. EMILIA 4 – JAVNO PREDSTAVLJANJE I POBEDA NA TAKMIČENJU SOLARNIH AUTOMOBILA AMERICAN SOLAR CHALLENGE 2018

### 11.1. Javno predstavljanje novog solarnog automobila *Emilia 4*

Solarni automobil *Emilia 4* prvi put je predstavljen italijanskoj i svetskoj javnosti 18. juna 2018. godine na pres-konferenciji koje je održana u Muzeju *Ferrari*, u mestu Maranello blizu Modene (*Museo Ferrari*, Maranello), gde je ujedno i sedište kompanije *Ferrari S.p.A.*, poznatog proizvođača super-sportskih automobila (vid. sliku 119). Predstavljanje je otvorio predsednik kompanije Pjero Ferari (Piero Ferrari). Ovakvim odnosom prema timu *Onda Solare* i njegovim pionirskim istraživačkim pregnućima u oblasti izrade solarnih automobila raznih klasa još od 2005. godine – kompanija *Ferrari* ukazuje na značaj te vrste istraživanja za celokupan razvoj italijanske nacionalne automobilske industrije i njenu afirmaciju u svetu.



Sl. 119. Muzej kompanije *Ferrari*: predstavljanje tima *Onda Solare* i solarnog automobila *Emilia 4*

### 11.2. Učešće na takmičenju *American Solar Challenge 2018* i pobeda u kategoriji *Cruiser*

Nepunih mesec dana posle prvog predstavljanja automobila *Emilia 4* italijanski nacionalni tim *Onda Solare* imao je prvo učešće na trkama solarnih automobila. Tim se kvalifikovao za takmičenju *American Solar Challenge 2018* u SAD, koje je posle *World Solar Challenge* u Australiji najstarije i najprestižnije takmičenje solarnih automobila u svetu.<sup>1</sup>

*American Solar Challenge (ASC)* je etapna trka solarnih automobila na trasi dugoj 2.700 km u smeru istok–zapad, od grada Omaha (država Nebraska) do grada Bend (država Oregon). Ovo takmičenje veoma je zahtevno: održava se na javnim putevima američkog Zapada, kroz slabije naseljene predele ravničarskog i planinskog reljefa. U kvalifikacijama stručni žiri vrši proveru dokaza o usklađenosti takmičarskih automobila sa predviđenim pravilima takmičenja. Zatim automobili učestvuju u takmičenju na kružnoj stazi, nazvano *Formula Sun Gran Prix*, a takmičari treba da postignu određene rezultate da bi se kvalifikovali za glavnu trku. Pobedu u glavnoj trci donosi najveći ukupan zbir poena na osnovu ocena stručnog žirija, koji primenjuje nekoliko ključnih kriterijuma, a to su: energetska efikasnost automobila; pređena kilometraža automobila; utrošeno vreme za vožnju automobila; broj i masa putnika u automobilu tokom trke; pouzdanost automobila i bezbednost putnika; eventualni kazneni poeni.

Trka *American Solar Challenge 2018* trajala je od 18. do 24. jula 2018. godine.<sup>2</sup> Solarni automobil *Emilia 4* (takmičarski broj: 559) svrstan je po američkoj nomenklaturi u takmičarsku kategoriju *Multi Occupant Vehicle – MOV* („vozilo za više putnika“), što je kategorija ekvivalentna kategoriji/klasi *Cruiser* po pravilima takmičenja *World Solar Challenge* u Australiji. Pored toga, takmičili su se i automobili u klasi *Single Occupant Vehicle* („vozilo za jednog putnika“).

Trka je imala nekoliko etapnih kontrolnih tačaka za obe kategorije vozila. Prijavilo se 28 razvojnih timova najpoznatijih istraživačkih instituta i univerziteta na svetu: *MIT - Massachusetts Institute of Technology* (SAD); *University of Michigan* (SAD); *Berkeley University of California* (SAD); *University of Florida* (SAD); *University of Minnesota* (SAD); *Polytechnique Montréal* (Kanada); *Western Sidney University* (Australija); *St. Petersburg Polytechnic University* (Rusija); *École de Technologie Supérieure* (Kanada); *Università di Bologna* (Italija) i drugi. Finalnim ocenjivanjem prema svim kriterijumima takmičenja *American Solar Challenge 2018* stručni žiri je proglasio automobil *Emilia 4* tima *Onda Solare* za pobjednika u kategoriji *Multi Occupant Vehicle*, tj. u kategoriji (klasi) *Cruiser* (vid. sliku 120).



Sl. 120. Tim *Onda Solare* sa pobjedničkim peharom i specijalnim nagradama takmičenja *ASC 2018*

Pokrovitelj takmičenja *ASC 2018* – američka fondacija *Innovators Educational Foundation (IEF)* dodelila je dve specijalne nagrade timu *Onda Solare* za originalna rešenja na solarnom automobilu *Emilia 4* (vid. sliku 121): nagradu za najbolji mehanički dizajn (*Mechanical Design Award*) i nagradu za najbolji set baterija (*Best Battery Pack Award*).



Sl. 121. Specijalne nagrade fondacije *IEF* timu *Onda Solare* na *ASC 2018*: a) za najbolji mehanički dizajn (*Mechanical Design Award*); b) za najbolji set baterija (*Best Battery Pack Design Award*)

### 11.3. Javne prezentacije i dokumentovanje pobedničkog solarnog automobila *Emilia 4*

Posle osvajanja prvog mesta na takmičenju *American Solar Challenge 2018* usledile su tokom leta i jeseni 2018. i proleća 2019. godine brojne javne prezentacije solarnog automobila *Emilia 4* i celog projekta tima *Onda Solare* širom Italije, u okviru različitih manifestacija: u Bolonji, Rimu, Imoli, Riminiju, San Marinu. Članove tima *Onda Solare* primio je i rektor Univerziteta u Bolonji Frančesko Ubertini (Francesco Ubertini). Automobil *Emilia 4* bio je takođe predmet pažnje italijanskog ministra životne sredine Serđa Koste (Sergio Costa) i gradonačelnice Rima Virđinije Rađi (Virginia Raggi) (vid. slike 122 i 123).

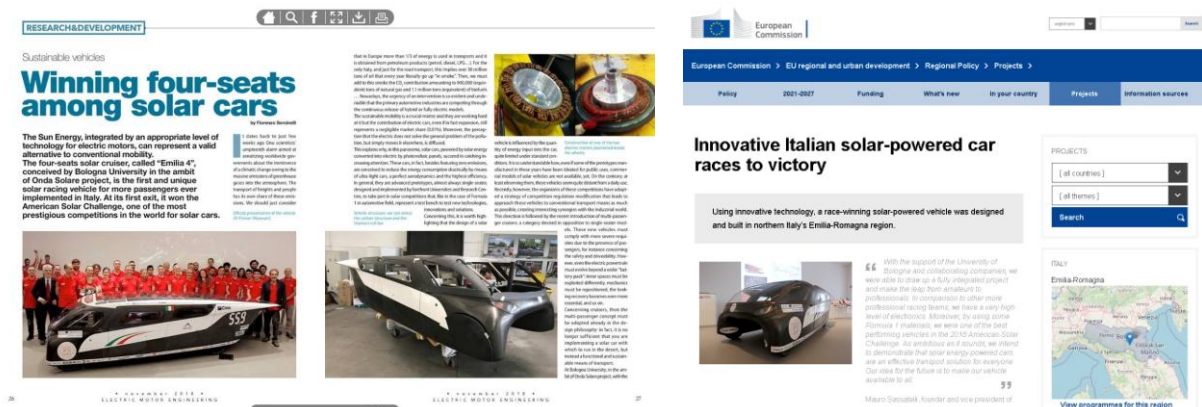


Sl. 122. Automobil *Emilia 4* na glavnom trgu u Bolonji i na trgu *Piazza Del Campidoglio* u Rimu



Sl. 123. Ministar životne sredine Italije i gradonačelnica Rima razledaju solarni automobil *Emilia 4*

Nastup i uspeh tima *Onda Solare* i automobila *Emilia 4* na takmičenju *American Solar Challenge 2018* popratile su svojim napisima brojne dnevne novine, magazini, stručni i naučni časopisi u Italiji i širom sveta (vid. sliku 124). Time je ujedno afirmisan ceo projekat na dizajniranju, konstruisanju i izradi solarnog automobila *Emilia 4* u kategoriji *Cruiser*.



Sl. 124. Napisi u časopisu *Electric Motor Engineering* i na zvaničnom sajtu Evropske komisije (EU)

Podaci o projektu i takmičarskom uspehu automobila *Emilia 4* objavljeni su i na zvaničnom sajtu udruženja i tima *Onda Solare*,<sup>3</sup> a naznačeno je da je Marko Luković autor dizajna automobila *Emilia 4*). Univerzitet u Bolonji (*Alma Mater Studiorum – Università di Bologna*) registrovao je dana 23. 04. 2019. godine dizajn solarnog automobila *Emilia 4* kod nadležne Kancelarije Evropske unije za intelektualnu svojinu u Milanu (*Ufficio dell'Unione europea per la Proprietà intellettuale – Milano*) pod brojem 006387387, a u dokumentaciji koja je priložena za registraciju navodi se i ime dizajnera Marka Lukovića (vid. sliku 125).

Projekat dizajniranja i izrade solarnog automobile *Emilia 4* predstavljen je na nekoliko naučnih konferencijama i izložbi u Srbiji u periodu od 2017. do 2020. godine. Na 51. Majskoj izložbi ULPUDS-a 2019. godine dodeljeno je priznanje Marku Lukoviću – Plaketa ULPUDS-a za realizovani dizajn solarnog automobila *Emilia 4* (vid. sliku 126).




 Ufficio dell'Unione europea per la Proprietà intellettuale  
 Dipartimento Operazioni

Alicante, 23/04/2019

GLP S.R.L. (sede di Milano)  
 Via L. Manara, 13  
 I-20122 Milano  
 Italia

**Ricevuta della domanda di registrazione del disegno o modello comunitario**

Suo riferimento:	J1-1801
Numero/i di registrazione dei disegni o modelli comunitari:	006387387
ID e nome del richiedente:	199961 Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Sl. 125. Naslovna strana sajta tima *Onda Solare* i registracija dizajna automobila *Emilia 4*



Sl. 126. Izloženi plakati na Majskoj izložbi ULUPUDS-a 2019. godine u Beogradu i dodeljena plaketa

**Napomene**

1. <https://www.americansolarchallenge.org/> (pristup: 03. 08. 2018).
2. <https://www.americansolarchallenge.org/the-competition/american-solar-challenge-2018/> (pristup: 03. 08. 2018).
3. <https://ondasolare.com/> (pristup: 09. 08. 2018).



**III. NOVO MOGUĆE DIZAJNERSKO REŠENJE  
ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA**

## 12. OD ISKUSTVA U DIZAJNIRANJU SOLARNOG AUTOMOBILA DO IDEJE O DIZAJNIRANJU NOVOG ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA

### 12.1. Vrednosti i dometi stečenog iskustva na dizajniranju solarnog automobila *Emilia 4*

U timskom radu zajedno sa članovima tima *Onda Solare* – stručnjacima iz raznih tehničkih disciplina – stekao sam velika nova praktična iskustva i znanja u jednoj veoma specijalizovanoj oblasti naučnog i umetničkog stvaralaštva kao što je dizajniranje, konstruisanje i izrada solarnih automobila. Pritom su postojala dva faktora koja su ograničavala i usmeravala moj rad na kreiranju dizajna solarnog takmičarskog automobila *Emilia 4* u kategoriji *Cruiser*. Pre svega, ceo multidisciplinarni tim *Onda Solare* i ja kao dizajner imali smo obavezu da se pridržavamo strogih funkcionalno-tehničkih zahteva sadržanih u pravilniku *World Solar Challenge 2015*.

Pored toga, ja sam istovremeno imao obavezu da stalno imam u vidu i dodatne zahteve koje je pred mene postavljao tim *Onda Solare*. Glavne smernice su bile sledeće: dizajn treba da predstavlja takvo originalno, celovito, funkcionalno, estetsko i tehničko-tehnološko rešenje tako da svojim kvalitetima doprinese što boljim aerodinamičnim performansama budućeg takmičarskog solarnog automobila; dizajn mora da bude prepoznatljiv i da i na prvi pogled izaziva asocijacije na specifične sportske i takmičarske performanse solarnih automobila koji učestvuju na velikim svetskim takmičenjima ove vrste automobila. Posebno je bio izražen zahtev da karoserija ne sme imati nikakvih suvišnih ispupčenja, udubljenja, useka i razmaka (*gap-ova*), kako bi se upravo kontinualno-tangentnim zaobljenjima i glatkim spoljašnjim površinama obezbedila maksimalno moguća aerodinamičnost. Ukupan rad na pripremi solarnog automobila (pa i njegovo dizajnersko rešenje) morao je takođe da bude prilagođen finansijskim mogućnostima tima *Onda Solare* i tehnologiji izrade kojom su raspolagali njegovi privredno-poslovni partneri u regiji Emilija-Romanja. Tako je moj rad na istraživanju dizajna budućeg automobila u kategoriji *Cruiser* prošao kroz nekoliko faza, uz moju stalnu težnju da svojim dizajnerskim rešenjem zadovoljim najpre aerodinamičke funkcije ovog solarnog automobila, a da pritom maksimalno iskažem i njegov neuobičajen estetski izgled (*stajling*).

Može se zaključiti da solarni automobil *Emilia 4* i u dizajnerskom i estetskom pogledu predstavlja *neminovan kompromis* u primeni svih zadatih parametara iz pravilnika *WSC 2015*, kao i velikog broja uputstava i zahteva koje sam dobijao od svih članova projektantskog tima *Onda Solare* (konstruktora, mašinskih inženjera, elektroinženjera i aerodinamičara). A projekat tima

*Onda Solare* bio je usmeren na stvaranje – po prvi put u Italiji – solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* koji bi bio spreman za uspešno učešće na veoma specifičnim i zahtevnim svetskim takmičenjima (trkama) automobila ove kategorije.

Međutim, ceo tim *Onda Solare* i ja kao dizajner bili smo takođe nadahnuti jednom načelnom idejom: da radom na stvaranju takmičarskog solarnog automobila *Emilia 4* doprinosemo ukupnim naporima sličnih timova u svetu koji su usmereni na iznalaženje tehničkih i dizajnerska rešenja koja bi u perspektivi omogućila širu primenu solarne energije kao dodatnog pogonskog sredstva kod automobila za svakodnevno korišćenje u drumskom saobraćaju. Uostalom, tendencije u savremenom automobilizmu u svetu pokazuju da se već uveliko traga za rešenjima koja bi omogućila korišćenje obnovivih izvora energije u svakodnevnom drumskom saobraćaju.

## **12.2. Tendencije kreiranja novih klasa vozila u savremenoj automobilskoj industriji**

Savremena automobilska industrija u svetu i dalje masovno proizvodi standardne automobile koje pokreću klasični motori sa unutrašnjim sagorevanjem (SUS motori; engleski: *internal combustion engine* – ICE), a kao pogonsko sredstvo koriste gorivo fosilnog porekla, tj. naftne derivate (benzinsko i dizel gorivo), kao i gas (tečni naftni gas – TNG; engleski: *liquid petrol gas* – LPG). Razvijeno svetsko tržište automobila prinudava proizvođače automobila da pomno oslušuju potrebe i želje svojih potencijalnih kupaca i tako se trude da im udovolje ponudom novih i raznovrsnih originalnih modela automobila, različitih klasa, oblika i cenovnih kategorija. Na taj način dizajnerski i konstruktorski timovi svih svetski poznatih proizvođača osmišljavaju nove klase vozila, koje predstavljaju zapravo svojevrsno ukrštanje (*cross-over*) različitih klasičnih segmenata postojećih kategorija vozila i novih konstrukcionih i dizajnerskih rešenja.

Tako dobijene nove klase vozila poslednjih godina nailaze na neočekivano veliku potražnju na tržištu standardnih vozila. Poslednjih desetak godina (2010–2020) na tržištu su sve prisutnija i traženija masivna SUV-vozila (engleski: *sport utility vehicle* – SUV), sa svojim manjim *cross-over* modalitetima. Nisu retka ni luksuzna super SUV-vozila, pa ni *Ultimate Luxury* SUV-modeli. To su vozila koja kombinuju oblik velikih karavanskih limuzina ili kupea (*coupé*) sa određenim karakteristikama terenskih automobila, koji imaju izrazito povišeno odstojanje podvozja od tla (engleski: *clearens*). Najupečatljiviji primeri ove klase vozila jesu modeli: *BMW X6* i *BMW X4*; *Mercedes GLE*; *Porsche Cayene* i *Porsche Macan*; *Bentley Bantayga*, *Lamborghini Urus*.

Pored toga, u automobilskoj industriji i dalje postoji sve veća ponuda luksuznih modela automobila sa izrazitim sportskim karakteristikama. Tako je nastala nova kategorija vozila u vidu kupe-limuzina za četiri osobe, sa modalitetima nazvanim simbolično *sport-back*, *fast-back*, *lift-back*, *speed-tail* i dr. Primeri takvih vozila jesu modeli: *Porsche Panamera*; *Aston Martin DB-9*; *Mercedes GT*; *Jaguar F-type*; *Bentley Continental GT – Grand Turismo*; *Audi A7* (vid. sliku 127).



Sl. 127. a) *Bentley Continental GT* – kupe-limuzina sa dvoja vrata (Velika Britanija), 2003;  
b) *Audi A7* – kupe-limuzina sa četvero vrata (Nemačka), 2010.

U istoriji automobilizma postoji veoma bogat katalog ikona sportskih automobila. One pružaju jaku predstavu o tome kako sportski automobili treba da izgledaju: automobili nisu samo dugački, niski i široki već se odlikuju i vizuelno „brzim“ linijama i zakrivljenim-oblim površinama. Takvi su tzv. *muscle-car* automobili (engleski: *muscle*, „mišić“) u kategoriji sportskih kupe-automobila: oni imaju naglašene obline karoserije („mišić“) iznad točkova, čime se, pored aerodinamičnosti, sugerše i snaga i startnost. Izrazit primer *muscle-car* automobila predstavlja model *Ford Mustang* (1969), koji je decenijama popularan na američkom tržištu (vid. sliku 128).



Sl. 128. *Muscle-car* – model kupe-automobila *Ford Mustang Boss* (SAD), 1969

Na modernom sportskom automobilu sa središnje postavljenim motorom (*mid engine cars*) prozorske površine i kabinski prostor pomereni su unapred, ponekad i znatno u odnosu na sredinu automobila, kako bi se oslobodio što veći prostor za velike motorne agregate. Luk točkova je takođe ključan u proporcijama sportskih automobila. Često se linija nivoa luka prednjih i zadnjih

točkova spušta, čime se naglašava koliko je niska konstrukcija automobila, posebno u području tzv. kokpita. U sličnom maniru oblikovan je zadnji („repni“) deo automobila, koji se uzdiže i tako obezbeđuje vezu sa aerodinamičnim karakteristikama difuzera trkačkog automobila.

Na primer, model *Porsche Carrera GT* tipičan je primer super-automobila sa puno nasleđa iz istorijata oblikovanja prethodnih modela ove ekskluzivne nemačke marke (vid. sliku 129). Oblikovan je tako da nedvosmisleno aludira na izrazite sportske performanse. I dok se *Porsche* kao proizvođač drži svoje klasične interpretacije sportskog automobila, italijanski proizvođač *Lamborghini* uvek iznenadi publiku svojim ekstremnijim dizajnerskim jezikom (stajlingom), sa naglašenim oštrim linijama i površinama. Na taj način nastoji da iskoči ispred svih ustaljenih konvencija – anticipitajući nove i originalne, veoma aerodinamične forme, kao što su već legendarni modeli *Diablo*, *Murciélago*, *Huracán* i *Aventador* (vid. sliku 130).



Sl. 129. Model sportskog automobila *Porsche Carrera GT* (Nemačka), 2003–2007.



Sl. 130. Model sportskog automobila *Lamborghini Aventador S* (Italija), 2017 (i dalje)

### 12.3. Električni automobili – nova era automobilske industrije

Poslednjih decenija u svetu je narasla svest o tome da su automobili koje pokreću klasični motori sa unutrašnjim sagorevanjem (SUS) uzročnik prevelike emisije štetnih gasova. Uz različite zastarele industrijske kapacitete, to dovodi do ozbiljnih promena u ukupnoj životnoj sredini, pa i u samoj klimi na našoj planeti. Stoga je u prvim dekadama XXI veka u automobilskoj industriji izražena globalna težnja da se iznađu efikasni načini napajanja automobila obnovivim izvorima energije, alternativnim u odnosu na klasične SUS motore, čime bi se omogućio ekološki prihvatljiviji vid transporta.<sup>1</sup>

Proizvođači sada prave za slobodno tržište ekološki prihvatljivija vozila u dve varijante (sa nekoliko podvarijanata): a) vozila na isključivo električni pogon (vid. sliku 131); b) tzv. hibridna vozila, sa kombinacijom električnog i SUS motora (vid. sliku 132).<sup>2</sup>



Sl. 131. *Jaguar I-Pace* – potpuno električni automobil (Velika Britanija), 2018.



Sl. 132. *Opel Ampera* – hibridni *plug-in* automobil (Nemačka), 2012–2016.

Vozila za standardnu svakodnevnu upotrebu na isključivo električni pogon (engleski: *electric vehicle* – EV) za sada se mogu kretati ograničenim brzinama (u proseku oko 150 km/h) i na ograničenim razdaljinama (maksimalno 300–500 km) zbog limitiranog kapaciteta baterija za skladištenje električne energije, koje zahtevaju naknadno dopunjavanje. Specifični super-sportski električni automobili dostižu brzine i preko 300 km/h. Korišćenje električnih vozila zahteva razvoj odgovarajuće infrastrukture, pre svega mrežu elektropunjača uz autoputeve i glavne saobraćajnice, sa različitim brzinom punjena iz elektromreže (2–12 sati, ali ima i brzih). Poznati modeli električnih automobila danas su: *Tesla Model S*, *Tesla Model X*, *BMW i3*, *Nissan Leaf*, *Chevrolet Bolt*, *Ford Focus Electric*, *Volkswagen ID3*, *Jaguar I-Pace*, *Kia Soul EV*, a javljaju se i modeli drugih proizvođača, sa različito namenom.

Iako je proizvodnja električnih i hibridnih automobila i dalje skuplja od standardnih automobila sa SUS motorima, države na razne načine stimulišu kupovinu ove vrste automobila. Tako i Srbija, preko Ministarstva zaštite životne sredine, već dve godine (2020–2021) daje subvencije (u vrednosti 2.500–5.000 evra) za kupovinu električnih i hibridnih vozila, za šta su obezbeđena sredstva u državnom budžetu.<sup>3</sup> Korisnici tih subvencija mogu biti pravna i fizička lica i

preduzetnici. Inače, u Srbiji je do sredine 2021. godine bilo registrovano oko 200 električnih i oko 1.500 hibridnih automobila, a na putnoj mreži bilo je instalirano oko 200 elektropunjača.<sup>4</sup>

U raznim zemljama sveta sada se zaoštrava politika usmerena protiv štetne emisije gasova u automobilskom saobraćaju, pa i u okviru Evropske unije. Tako je sredinom 2021. godine Evropska komisija usvojila paket mera kako bi se klimatske, energetske, zemljišne, transportne i poreske politike zemalja Evropske unije uskladile sa zajedničkim ciljem – a to je smanjenje emisije gasova sa efektom „staklene bašte“ za najmanje 55 odsto do 2030. godine u odnosu na nivo iz 1990. godine. Prema usvojenim normama, od 2035. godine moći će da se proizvode samo vozila sa *nultom emisijom gasova* (engleski: *zero-emission*), što znači da automobili sa motorima na unutrašnje sagorevanje „odlaze u istoriju“.<sup>5</sup>

Mnogi proizvođači automobila već su najavili da će u budućnosti proizvoditi samo električna i hibridna vozila. Iako je to proces koji će potrajati (a zavisano je od delovanja mnogih činilaca na svetskoj sceni), istaknuti svetski proizvođači automobila već imaju odgovarajuće projekte. Na primer, jedan od najvećih svetskih proizvođača i izvoznika motora za električna vozila – japanska firma *Nidec* gradi fabriku ovih motora u Novom Sadu i ujedno osniva industrijski park (istraživačko-razvojni centar), odakle će širiti svoje poslovanje u Evropi.<sup>6</sup> Pored toga, u Kragujevcu je oživljena ideja o realizaciji projekta izrade prototipa električnog automobila.<sup>7</sup>

#### **12.4. Nove mogućnosti u postavkama elemenata *package-a* i *stajlinga* automobila**

Iz prethodnog osvrta na tendencije u savremenoj automobilskoj industriji vidi se značaj vizuelnog izgleda – *stajlinga* automobila (engleski: *style/styling*). *Stajling* predstavlja dodatni kvalitet automobila, koji ga izdvaja od drugih automobila nekim inovativnim i originalnim estetskim rešenjem, te tako služi da inicijalano privuče pažnju potencijalnih korisnika (kupaca) automobila.<sup>8</sup> Po tradicionalnom shvatanju u automobilizmu, o *stajlingu* brinu stilisti, dok zahtevi koji se postavljaju pred dizajnera automobila imaju širi karakter. Dizajner teži, kao i stilista, oblikovanju dopadljivog estetskog rešenja, ali dodatno mora strogo voditi računa o funkcijama koje su predviđene za određenu kategoriju vozila. Dizajn automobila je uspešan ukoliko odgovori što većem broju ulaznih zahteva i time doprinese efikasnoj i bezbednoj vožnji automobila. U svakom slučaju, dizajneri automobila daju pečat estetskim karakteristikama automobila, sa moćnim vizuelnim kodom (zapisom), čime doprinose uspostavljanju direktne veze potencijalnih korisnika sa određenim proizvođačem, što u suštini i čini pojam *brend-a* u automobilizmu. Sve to posebno dolazi do izražaja kod sportskih automobila.

Pojava novih klasa vozila i raznovrsna ponuda modela luksuznih sportskih automobila, o čemu je napred bilo reči, obeleženi su u praksi sve većom kreativnom slobodom dizajnera. Sa druge strane, upotreba električnih automobila neposredno utiče na arhitekturu vozila, koja se postepeno menja u odnosu na standardna vozila. Na taj način dizajnerima ove nove vrste automobila otvara se još šire polje kreativne slobode u postavkama osnovnog *package*-a i stajlinga. Tako proizvođači električnih vozila izrađuju automobile raznovrsnih namena zadovoljavajući potrebe u različitim segmentima tržišta.

## 12.5. Ideja o dizajniranju novog električnog automobila

U Srbiji se za sada niko ne bavi izradom takmičarskih solarnih automobila, bilo kojih kategorija/klasa. Stoga još nemam priliku da u toj sferi stvaralaštva u automobilizmu iskoristim iskustva i znanja koja sam stekao u Italiji – u okviru pripreme za izradu solarnog automobila *Emilia 4* u kategoriji *Cruiser*.

Međutim, ova stečena iskustva i znanja mogu korisno poslužiti u kreiranju dizajna određenog tipa električnog automobila za opštu upotrebu u drumskom saobraćaju. Njegovu specifičnost činila bi mogućnost dodatne upotrebe solarne energije, kao dodatnog pogonskog sredstva. To jeste smela ideja, ali ja sam i ovog puta vođen svojim umetničkim inspiracijama, afinitetima i dizajnerskim/stilskim izrazom (*style / design language*). A pored iskustva i znanja stečenog na dizajniranju solarnog automobila *Emilia 4*, iza mene je dvadesetogodišnje profesionalno iskustvo u kreiranju dizajna vozila različitog tipa, kako za proizvođače automobila u zemlji tako i u inostranstvu. Imao sam takođe u vidu i brojne primere uspešnih dizajnerskih rešenja iz istorijata svetske automobilske industrije.

Prema tome, sublimiranjem svih iskustava stečenih u dizajniranju automobila, uz uvažavanje aktuelnih tendencija u savremenoj automobilskoj industriji – ovde definišem koncept dizajna električnog automobila za opštu upotrebu u drumskom saobraćaju koji bi se napajao energijom iz elektromreže, uz implementaciju solarnih panela kao sredstva dodatnog izvora električne energije. Bliže govoreći, moja ideja je da osmislim dizajn električnog automobila koji bi vizuelno pripadao kategoriji kupe-limuzina (*fast-back*) za četiri putnika, uz dodatnu inspiraciju oblikom *muscle-car* automobila. Tako osmišljen dizajn upućivao bi na futuristički model automobila sa izrazitim aerodinamičnim i sportskim karakteristikama.



## Napomene

1. *Alternative Fuel Alternative fuels for cars: what does the future hold?* By Jamie Thomson and Erika Granath:

[https://www.intelligent-mobility-xperience.com/alternative-fuels-for-cars-what-does-the-future-hold-a-920239/?cmp=go-ta-art-trf-IMX\\_DSA-20200217&gclid=EAIaIQobChMijqetx6D36wIVvCB7Ch11kA8rEAAYASAAEgJSD\\_D\\_BwE](https://www.intelligent-mobility-xperience.com/alternative-fuels-for-cars-what-does-the-future-hold-a-920239/?cmp=go-ta-art-trf-IMX_DSA-20200217&gclid=EAIaIQobChMijqetx6D36wIVvCB7Ch11kA8rEAAYASAAEgJSD_D_BwE)

(pristup: 13. 03. 2016).

2. a) <https://www.aathornton.com/hybrid-vehicles-simple-guide> (pristup: 13. 03. 2016).

b) [https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid\\_electric\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_electric_vehicle) (pristup: 13. 03. 2016).

3. a) <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/uredba/reg> (pristup: 10. 07. 2021).

b) „Службени гласник РС“, бр. 156/2020, 53/2021.

4. a) <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/elektropunjači> (pristup: 15. 08. 2021)

b) [https://play.google.com/store/apps/details?id=rs.mtkomex.chargeandgo&hl=en\\_US&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=rs.mtkomex.chargeandgo&hl=en_US&gl=US)  
(pristup: 15. 08. 2021).

c) <https://www.kamatica.com/vest/srbija-dobila-jos-cetiri-punjaca-za-elektricne-automobile/63203>  
(pristup: 15. 08. 2021).

5. a) <https://nova.rs/auto/evropska-unija-se-oprasta-od-dizela-i-benzinaca/> (pristup: 15. 08. 2021).

b) <https://www.energetskiportal.rs/evropska-komisija-usv...> (pristup: 15. 08. 2021).

6. <https://plutonlogistics.com/tag/elektricni-automobili/> (pristup: 15. 08. 2021).

7. <https://www.danas.rs/ekonomija/zastava-priprema-projekata-elektromobila/> (pristup: 17. 08. 2021).

8. Lewin, Tonny, with Ryan Borroff. 2003. *How to: Design Cars like a Pro. A Comprehensive Guide to Car Design from the Top Professionals*. St. Pual (MN, USA): Motorbooks International, 25.

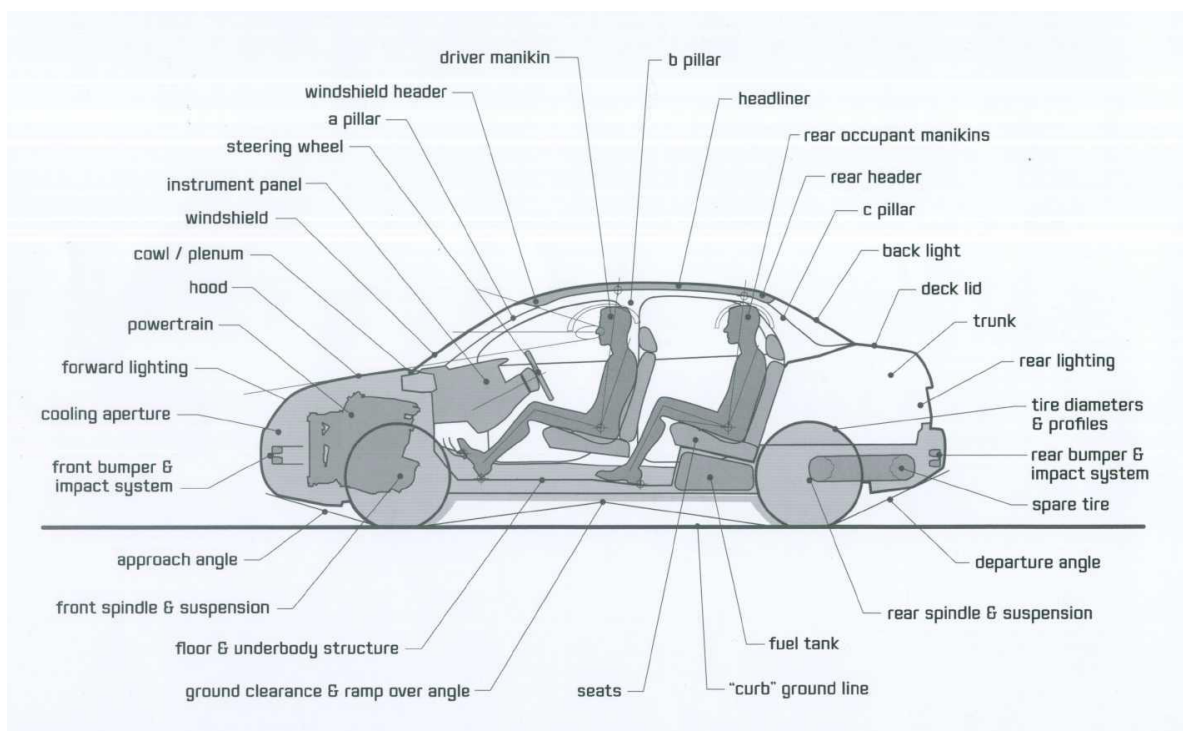
### 13. ELEMENTI ARHITEKTURE AUTOMOBILA

Upuštajući se u proces kreiranja dizajnerskog rešenja za električni automobil drugačiji u odnosu na solarni automobil *Emilia 4*, morao sam imati u vidu:

- raspored funkcionalnih elemenata – arhitekturu automobila (*package*);
- ključne „tvrde tačke“ u arhitekturi automobila (*hardpoints*);
- poziciju i položaj putnika unutar automobila (*package* putnika).

#### 13.1. Raspored funkcionalnih elemenata – arhitektura automobila (*package*)

Uvek je neophodno da dizajner prepozna koje su važne tačke u arhitekturi automobila. Raspored funkcionalnih elemenata koji čine arhitekturu automobila (*package*) može varirati od koncepta do koncepta automobila. Ipak, ti elementi su standarni kod većine automobila u današnje vreme (vid. sliku 133).



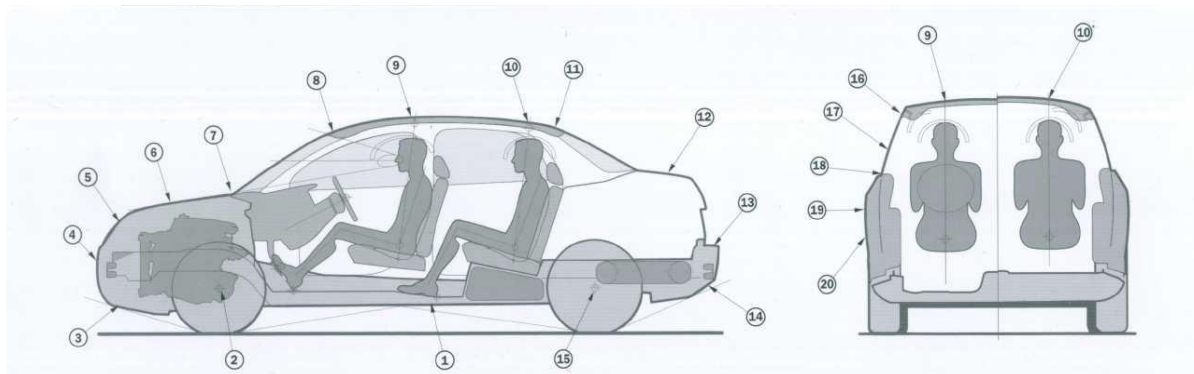
Sl. 133. Šematski prikaz elemenata arhitekture (*package*) automobila za serijsku proizvodnju

Inicijalni raspored elemenata arhitekture automobila treba da bude što jednostavniji. Grube proporcije automobila mogu se ustanoviti na osnovu sledećih sedam elemenata:<sup>1</sup>

- 1) prostor i položaj sedenja putnika u automobilu (sa vozačem);
- 2) prostor pogonskog sistema (motora) – *powertrain*;
- 3) veličina točkova i guma;
- 4) veličina prtljažnog prostora;
- 5) odstojanje vozila od zemlje – *clearence*;
- 6) sistem za zaštitu od sudara vozila;
- 7) struktura karoserije vozila, sa otvorima za prozorske površine i vrata.

### 13.2. Ključne „tvrde tačke“ u arhitekturi automobila (*hardpoints*)

„Tvrde tačke“ (*hardpoints*) u arhitekturi automobila generišu se na osnovu inicijalnog rasporeda elemenata arhitekture automobila – *package* (vid. sliku 134). Podaci o „tvrdim tačkama“ neophodni su i za izradu kompjuterski generisanog trodimenzionalnog CAD modela.<sup>2</sup>



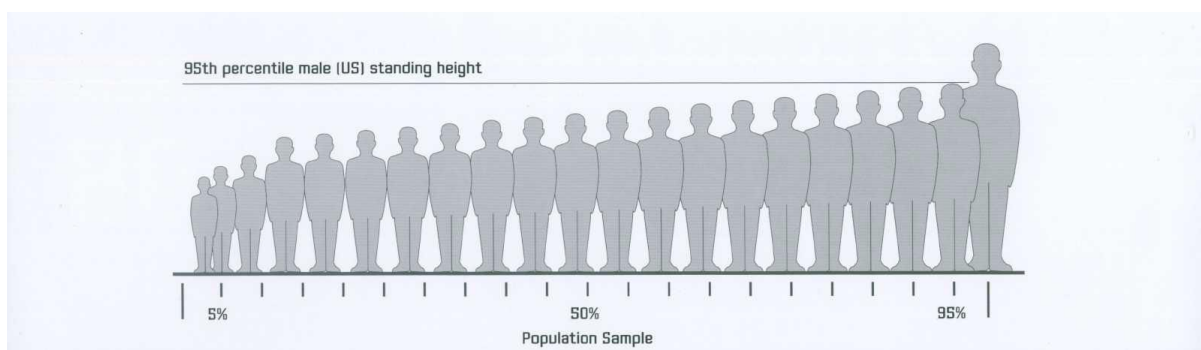
Sl. 134. Šematski prikaz „tvrdih tačaka“ (*hardpoints*) u arhitekturi automobila

### 13.3. Pozicija i položaj putnika unutar automobila (*package* putnika)

U definisanju arhitekture automobila moraju se veoma pažljivo prostudirati i isprojektovati pozicija i položaj putnika (antropometrija, ergonomija) unutar automobila, što čini *package* putnika. Ako su pozicija i položaj putnika u startu pogrešno isplanirani, to zasigurno dovodi do situacije da se cela arhitektura automobila mora iznova dizajnirati (redizajnirati). U tu svrhu koriste se standardizovane trodimenzionalne figure ljudskog tela – 3D manekeni (*manikin*), koji predstavljaju buduće korisnike automobila različitih polova, uzrasta i veličina. Geometrija manekena je uvek konstantna u procesu izrade automobila, a karoserija određene klase automobila uvek se dizajnira oko njih, sa uračunatim položajima kretanja unutar kabine.

Kad se definiše *package* putnika, najvažnija referentna tačka jeste pozicija vozačevih kukova. Po američkoj nomenklaturi ta se pozicija označava kao *Hip-point* (skraćeno: *H-point*),<sup>3</sup> dok se u evropskom sistemu standarda koristi izraz *Seating Reference Point* (skraćeno: *SgRP*).<sup>4</sup> Ova referentna tačka veoma utiče na sve elemente arhitekture automobila. Dovoljno je da se *H-point* putnika na prednjim ili zadnjim sedištima pomeri po vertikalnoj ili horizontalnoj osi, pa da to direktno utiče na položaj ostalih elemenata arhitekture automobila.

U automobilskoj industriji proizvođači koriste nekoliko setova manekena muškog i ženskog pola i različite visine po standardima *SAE percentile*, koji su idealni za testiranja i procene veličine, proporcije i pokreta (antropometrije, ergonomometrije) putnika u automobilu (vid. sliku 135).



Sl. 135. Standard *SAE* koji u percentilima izražava različite visine osoba muškog pola

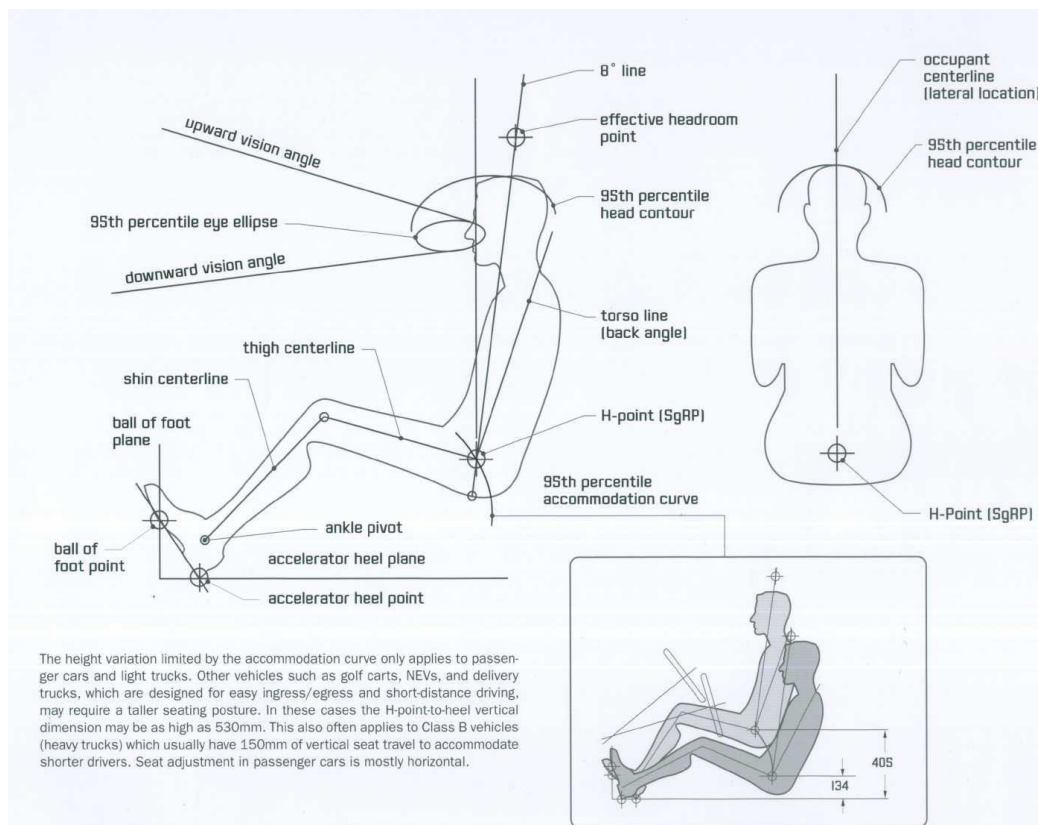
Trodimenzionalne ljudske figure (manekeni), sa svim pokretnim zglobnim tačkama, postavljaju se u željeni sedeći položaj, pa se u odnosu na ovakvu geometriju utvrđuje digitalnom metodom:

- kontrola različitih mehaničkih i elektrosistema;
- studija vidnog polja (polja preglednosti iz kabine);
- pozicija pogonskog sistema (motora);
- izbor veličine i pozicije točkova/guma;
- pozicija prednjih svetala i njihovih snopova na čeonj masci i branicima;
- prtljažni prostor.

Referentne tačke anatomije muške ljudske figure (manekena) po standardu *SAE (J826) 95 percentile* jesu (vid. sliku 136):

- 1) tačka pozicije kukova – *H-point* / *SgRP*;
- 2) kriva smeštanja i sedenja – *Accommodation curve*;
- 3) tačka oslonca pete u odnosu na papučicu gasa – *Accelerator heel point*;
- 4) tačka pritiska stopala na papučicu gasa – *Ball of foot point*;
- 5) ravan položaja stopala na papučici gasa, maksimalno  $87^{\circ}$  – *Accelerator foot plane*;

- 6) linija gornjeg dela tela/trupa – *Torso line*;
- 7) elipsoida kretanja položaja očiju 95 percentile – *Eye Ellipse (J941)*;
- 8) položaji konture glave 95 percentile – *95th Head contours (SAE 1052)*;
- 9) vidno polje (uglovi preglednosti) – *Vision angles*;
- 10) tačke slobodnog prostora za glavu – *Effective headroom point (SAE J110)*;
- 11) položaj donjih ekstremiteta – *Lower limbs*.



Sl. 136. Referentne tačke anatomije muške figure (manekena) po standardu SAE (J826) 95 percentile

## Napomene

1. a) Lewin, Tonny, with Ryan Borroff. 2003. *How to: Design Cars like a Pro. A Comprehensive Guide to Car Design from the Top Professionals*. St. Pual (MN, USA): Motorbooks International, 106.  
b) Macey, Stuart, with Geoff Wardle. 2008. *H-Point: The Fundamentals of Car Design and Packaging*. Culver City (CA, USA): Design Studio Press, 62.
2. Macey, Stuart, with Geoff Wardle. 2008. *H-Point: The Fundamentals of Car Design and Packaging*. Culver City (CA, USA): Design Studio Press, 42.
3. Macey, Stuart, with Geoff Wardle. 2008. *H-Point: The Fundamentals of Car Design and Packaging*. Culver City (CA, USA): Design Studio Press, 90.
4. Panero, Julius i Martin Zelnik. 1990. *Antropološke mere i enterijer. Zbirka preporuka za standarde u projektovanju*. Beograd: IRO „Građevinska knjiga“.

## 14. IDEJNA REŠENJA – ISTRAŽIVANJE VARIJACIJE FORME NOVOG AUTOMOBILA

### 14.1. Inicijalne skice mogućih novih rešenja

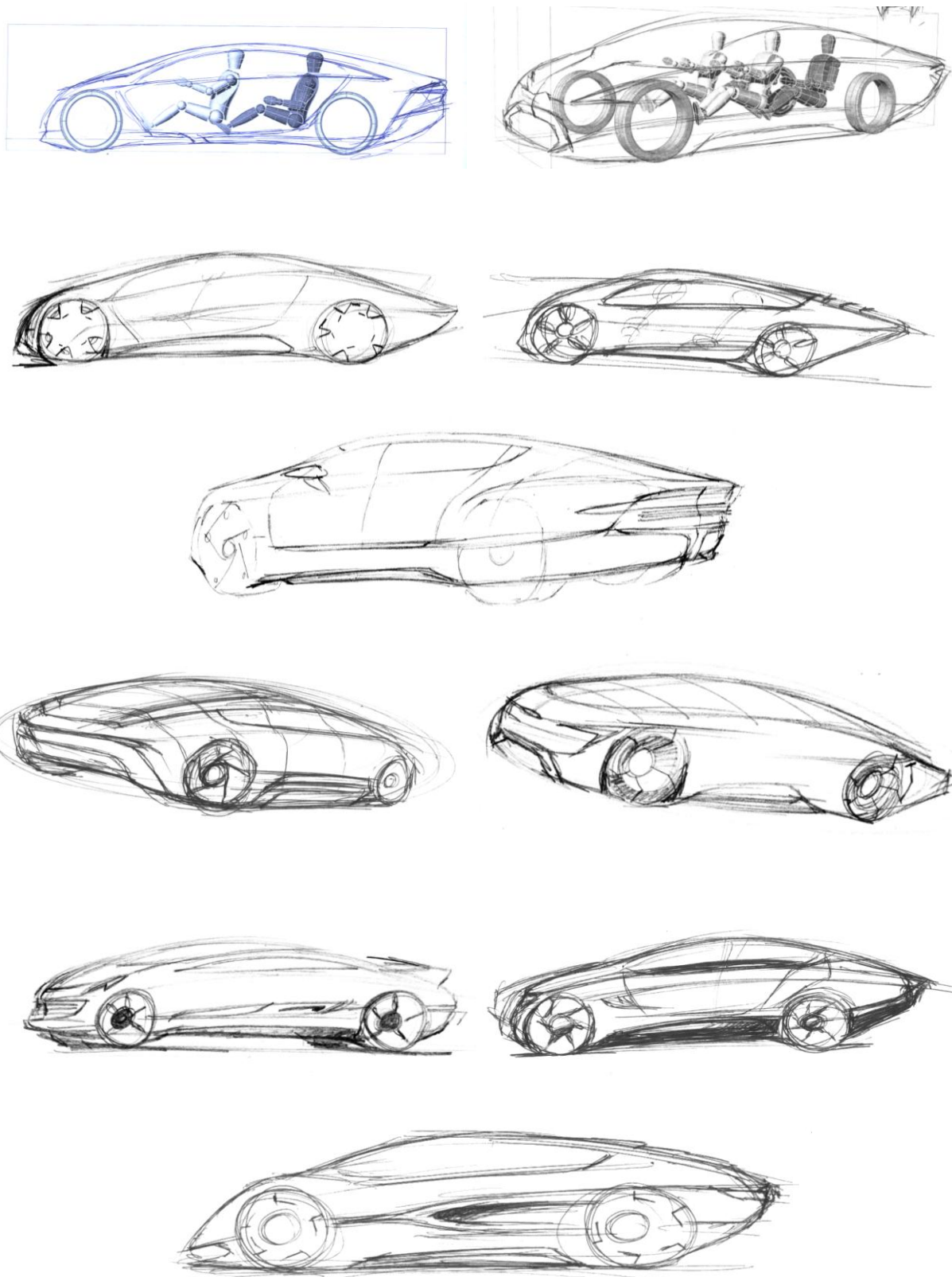
Pristupio sam definisanju atraktivnije topologije konkavno-konveksnih površina karoserije električnog automobila za četiri putnika – koja naglašava funkcionalno-estetske elemente karoserije, sa karakteristikama kupe-limuzine (*fast-back*), uz dodatnu inspiraciju oblikom *muscle-car* automobila (vid. sliku 137).<sup>1</sup>



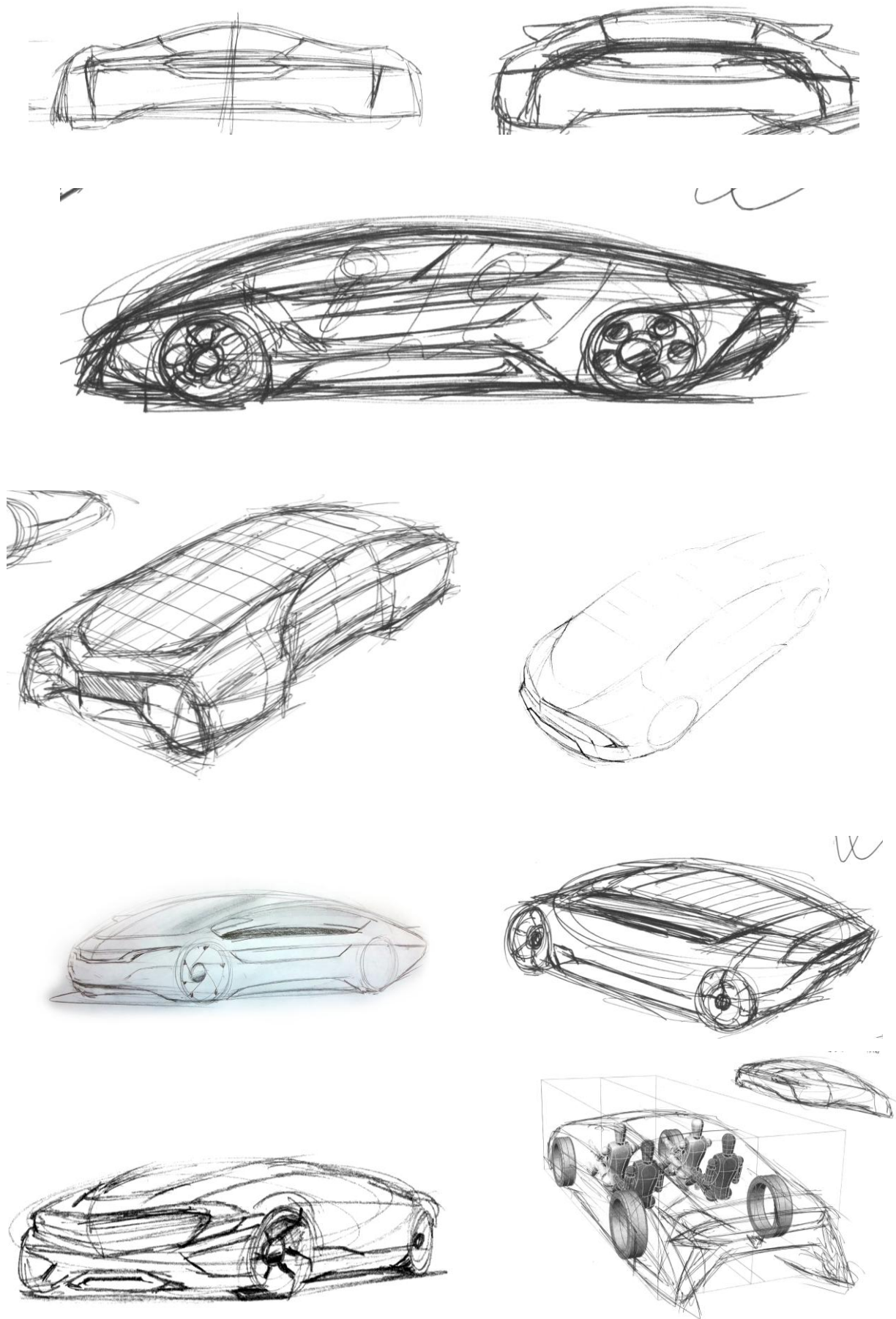
Sl. 137. Primeri *muscle-car*: a) gornji red: koncept automobila *Chevrolette Corvette Manta Ray* (1969) i automobila *Mako Shark II* (1965); b) donji red: serijski automobil *Chevrolette Corvette C3* (1968–1982)

Različitom igrom i kombinacijom elemenata dobijene su potpuno nove bazične proporcije automobila, koje su proširile mogućnosti mog daljeg dizajnerskog istraživanja. U realizaciji ove ideje kao smernice su mi poslužili principi aerodinamike (lako opstrujavanje vazduha oko tela, *streamlined body*, venturi efekat, *Kamov rep*, NACA profili i dr.). Kao tehnički *layout* koristio sam *3D package* putnika, gde je moguća promena pozicije i položaja tela manekena. Kako bih istražio mogućnosti novih proporcija i volumena automobila u klasi kupe-limuzina (*fast-back*), varirao sam distancu između prednjih i zadnjih točkova (međuosovinsko rastojanje), kao i veličinu točkova (u standardnim dimenzijama za serijska vozila do 21 inča). Pozicija vozačevih kukova (*Hip-point / H-point / SgRP*), koja utiče na sve elemente arhitekture automobila, definisana je u odnosu na ovo dizajnersko rešenje.

U početnoj fazi mog istraživanja uradio sam nekoliko desetina inicijalnih skica različitih pravaca u rešavanju spoljašnjeg oblika automobila, a ovde se daje uži izbor skica (vid. slike 138 i 139).



Sl. 138. Inicijalne idejne skice – Tabla 1

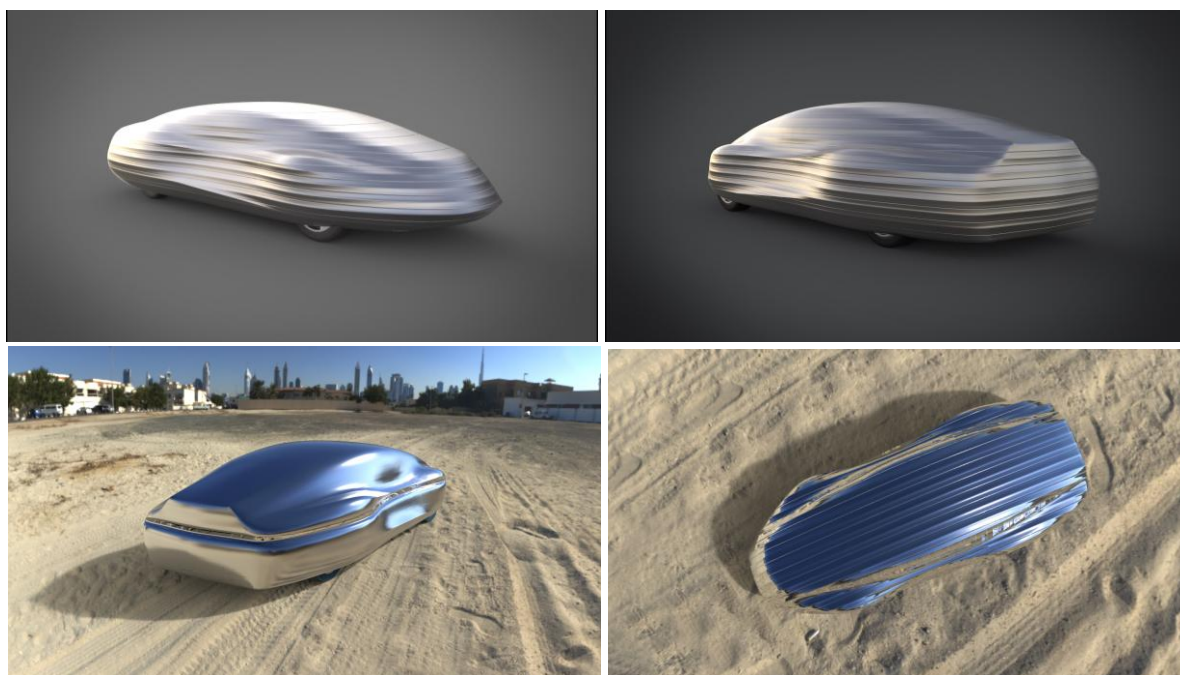


Sl. 139. Inicijalne idejne skice – Tabla 2



## 14.2. Skulpturalno-umetničko istraživanje varijacija forme kroz kompjuterski 3D model

Skulpturalno-umetničko istraživanje varijacija forme u virtuelnom prostoru, tj. u specijalizovanim 3D softerima, poslužilo mi je za izradu nekoliko istraživačkih studija – sa obuhvaćenim pozicijama četiri putnika unutar kabine (vid. sliku 140). Te studije su bile podloga za izradu potpuno novog finalnog dizajnerskog rešenja sa futurističkim elementima, sa odgovarajućim detaljima karoserije automobila (topologija forme, prozorske površine, svetlosne grupacije, grafika proizvoda i dr.). Da bi se dobila jasna vizuelna predstava, uradio sam nekoliko iteracija oblika zadnjeg („repnog“) dela automobila. Uradio sam takođe fotorealistične 3D vizuelizacije (rendering) mogućeg preliminarnog oblika automobila sa različitim kombinacijama završne obrade materijala, boja i tekstura. Ovde su prikazane dve kolorističke varijante sa izduženim „repnim“ delom karoserije automobila (vid. slike 141 i 142).

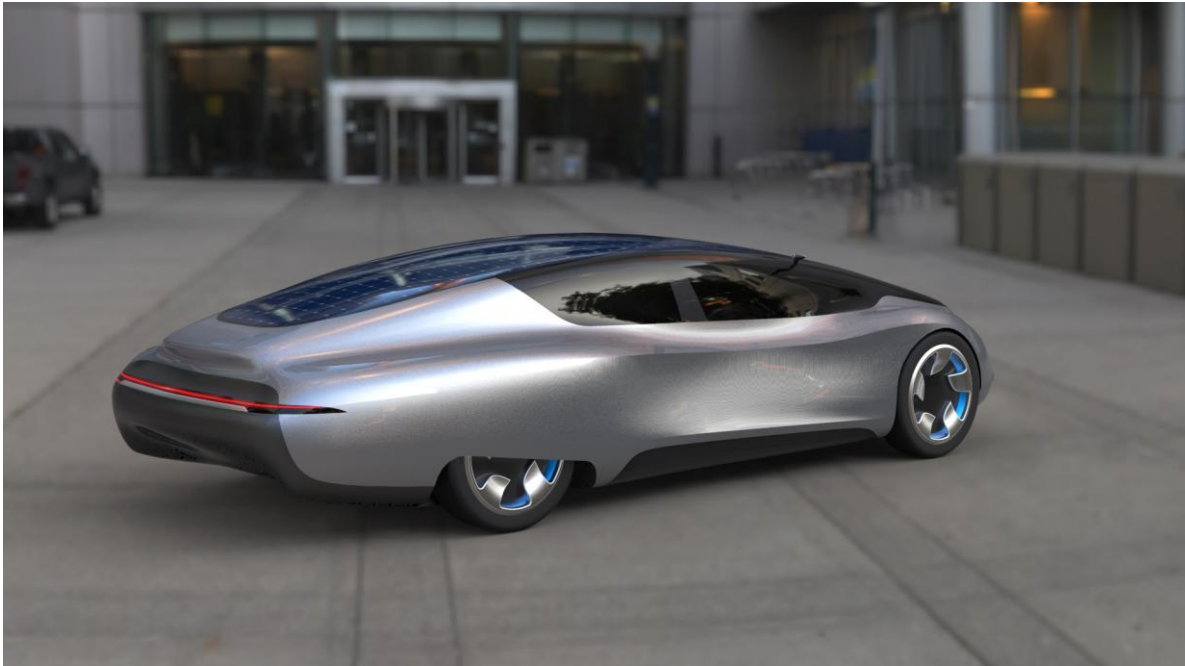


Sl. 140. Varijanta: *Kamm-tail* (zasečen zadnji „repn“ deo) automobila sa sakrivenim točkovima



Sl. 141. Varijanta: veoma izdužen zadnji deo automobila po uzoru na NACA profil, sa vidljivim točkovima

Ovo predfinalno dizajnersko rešenje sa izduženim „repnim“ delom karoserije podrazumevalo je da automobil ima dužinu od 5.300 mm (vid. sliku 144), što bi otežavalo manevrisanje i parkiranje automobila u skućenim prostorima urbanih sredina (uže ulice, javni parkinzi i garaže i sl.). To je bilo razlog da se u konačnom dizajnerskom rešenju smanji dužina „repnog“ dela za oko 300 mm, što automobil uvodi u standard klase kupe-limuzina (*fast-back*) dužine do 5.000 mm. O tome će biti više reči u narednom poglavlju.



Sl. 142. *Streamlined Body* – veoma izdužen „repn“ deo auta po uzoru na telo delfina i razvučenu kap vode

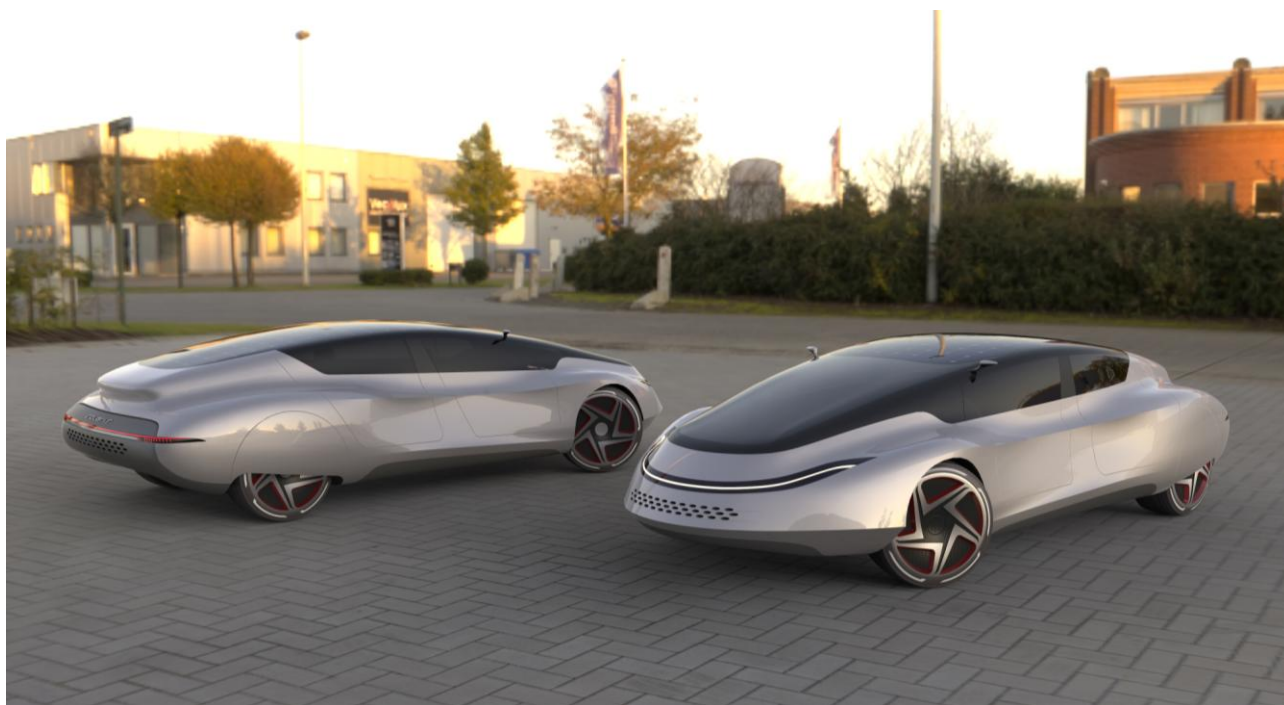
## Napomene

1. a) Lintelmann, Reinhard. 2008. *1000 Concept Cars. Ideen, Entwicklungen, Utopien*. Köln (Deutschland): Naumann und Goebel Verlagsgesellschaft mbH.
- b) Bell, Jonathan. 2003. *Concept Car Design. Driving The Dream*. Mies (Switzerland): A RotoVision Book.
- c) Phillips, Adam. 2005. *SuperCars. Driving the Dream*. Sywell (United Kingdom): Igloo Books Ltd.
- d) Fiell, Charlotte and Peter Fiell. 2006. *Industrial Design A–Z*. Köln/London/Los Angeles/Madrid/Paris/Tokyo: Taschen GmbH.
- e) Dredge, Richard. 2007. *Concept Cars and Prototypes Concept car design: Exploring the Future of Automobile*. Rochester (UK): Richard Amber Books Ltd.
- f) Zumbrunn, Michel und Robert Cumberford. 2007. *Auto-Legende. Klassiker in Still und Design*. München: Bassermann, Verlag.

## 15. KARAKTERISTIKE NOVOG REŠENJA DIZAJNA ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA

### 15.1. Opšte karakteristike dizajna električnog automobila – klasa kupe-limuzina (*fast-back*)

Novo rešenje dizajna električnog automobila definisano je u skladu sa meni svojstvenim pristupom obradi forme. Moja interpretacija topologije forme karoserije tog tipa automobila daje ovom dizajnerskom rešenju nov, originalan futuristički karakter i sugerise prepoznatljivost u okviru klase kupe-limuzina (*fast-back*). Ovaj novi model – simbolično nazvan *Solaris* – vizuelno pripada novoj dizajnerskoj interpretaciji kategorije „mišićavih“ automobila (*muscle-car*). Već na prvi pogled vidi se igra konkavno-konveksnih površina, linija i volumena. To celom vozilu daje upečatljiv izgled: semantički podseća na dinamičnu pokretnu skulpturu, kao da je izvajana (izlivena) iz jednog komada i kao da ju je vetar „oblikovao“ (vid. sliku 143).

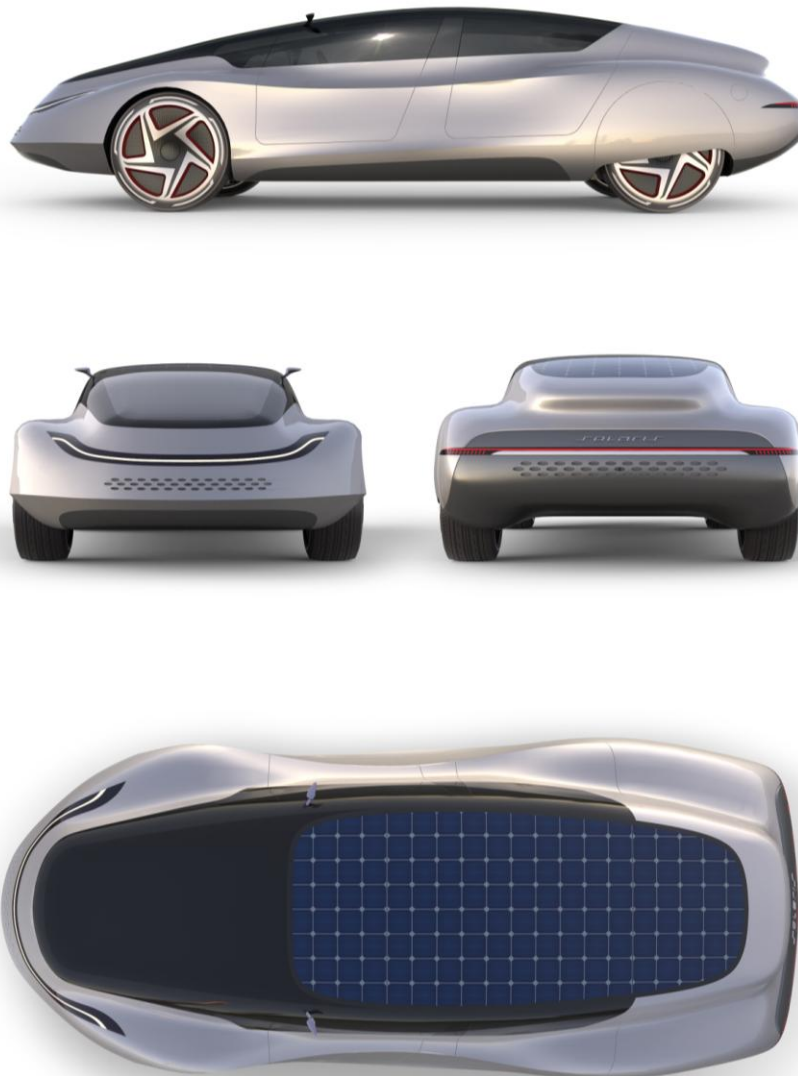


Sl. 143. Konkavno-konveksni skulpturalni pristup obradi spoljnih površina električnog automobila

Rukovodeći se ovakvim svojim pristupom i idejama, u kreiranju novog dizajnerskog rešenja istovremeno uvažio sam veoma specifičan tehnički zahtev koji su isticali aerodinamičari u radu na dizajnaniranju i projektovanju takmičarskog solarnog automobila *Emila 4*: karoserija ne sme imati nikakvih suvišnih ispupčenja, udubljenja, useka i razmaka (*gap-ova*), kako bi se upravo kontinualno-tangentnim zaobljenjima i glatkim spoljašnjim površinama obezbedila maksimalno moguća aerodinamičnost. Taj princip oblikovanja primenjuje se takođe u izradi letelica u aeronautičkoj industriji, a znatnim delom je primenjen i u savremenoj automobilskoj industriji.

Prema tome, pri kreiranju novog dizajnerskog rešenja težio sam da dizajnerska obrada spoljašnjih površina (takozvani *surface treatment*) bude takva da vizuelno odmah asocira na superiornu aerodinamičnost i vrhunske performanse sportskih automobila srodnih tipova kao što su: *sports cars, coupés, roadsters, supercars, hypercars, electric sports cars, race cars*.

Gabaritne dimenzije finalnog dizajna automobila iznose: dužina 4.950 mm, visina 1.261 i širina 1.880 mm. Međuosovinko rastojanje iznosi 2.839 mm. Postoji potrebna razdaljina (*clearance*) između tla i podvozja karoserije: iznosi 150 mm (vid. sl. 144). Ovakim dimenzijama automobil se potpuno uklapa u savremene trendove koji postoje u klasi automobila kupe-limuzina (*fast-back*).



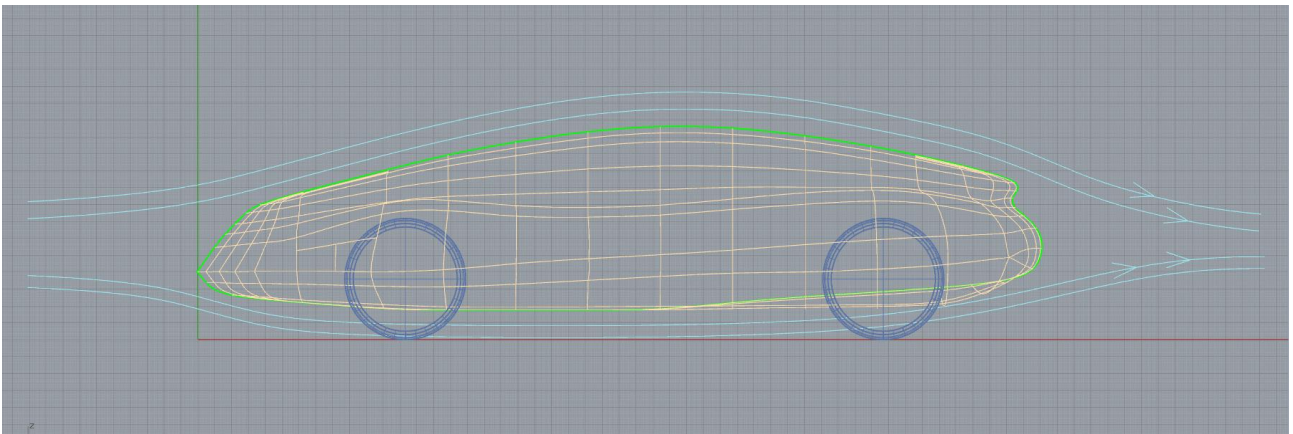
Sl. 144. Projekcijski prikazi električnog automobila – klasa kupe-limuzina (*fast-back*)

## 15.2. Primenjeni principi aerodinamike

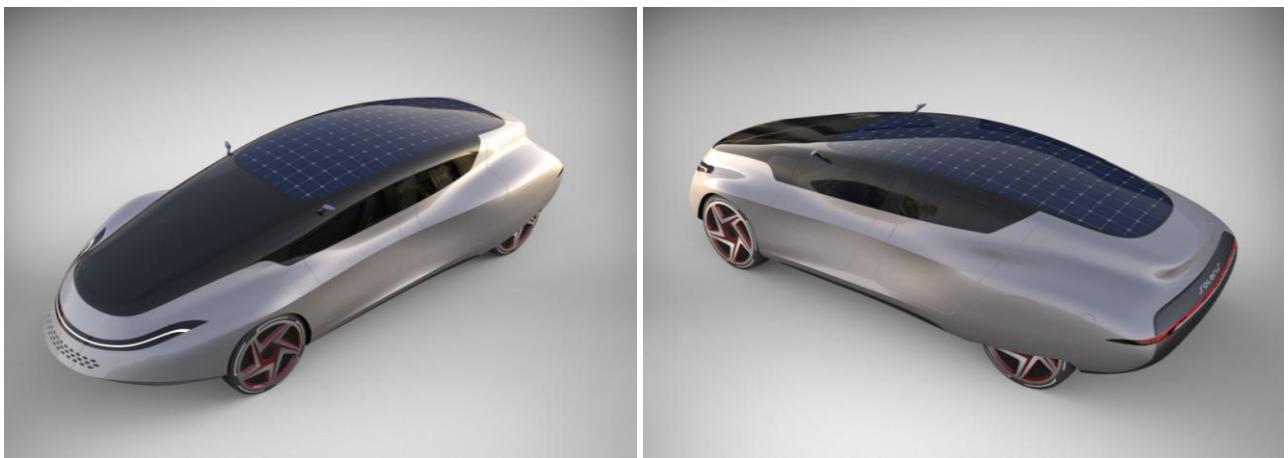
### 1. NACA profil – aerodinamička ideja vodilja

U kreiranju novog dizajna električnog automobila primenjeni su naučni principi aerodinamike na sličan način kao i pri dizajniranju solarnog automobila *Emilia 4*. Kao ideja vodilja primenjen je NACA profil (*NACA airfoil*), u vidu preseka avionskog krila, koji predstavlja bazični funkcionalni princip aerodinamike (vid. sliku 145). U ovom dizajnerskom rešenju NACA profil je primenjen po uzdužnoj osi simetrije tela automobila – pri oblikovanju glavne lučne površine krova, koja se proteže od samog čeonog pa sve do „repnog“ dela automobila, čime je vizuelno definisana prepoznatljiva i dominantna bočna silueta automobila.

Zadnji („rejni“) deo automobila blago je skraćen (zaobljen) u odnosu na standardni uoštreni NACA profil, što je primerenija forma za dizajn automobila namenjenih opštoj upotrebi u saobraćaju, a obezbeđuje potreban stepen aerodinamičnosti (vid. sliku 146).



Sl. 145. Oblik NACA profila primenjen je po uzdužnoj osi simetrije tela automobila



Sl. 146. Spušten luk od krova do zadnjeg dela automobila doprinosi većem koeficijentu aerodinamike

## 2. Venturi efekat – Venturijev tunel

U cilju boljeg dodatnog ubrzanja, u zadnjem delu podvozja automobila dizajnirano je specifičano ulegnuće koje izdiže zadnji donji deo karoserije i omogućava željeni protok vazduha stvarajući venturi efekat, kako je to i kod sportskih trkačkih automobila (vid. sliku 147).



Sl. 147. Venturijev tunel u donjem delu karoserije stvara izlazno ubrzanje vazduha ispod vozila

Da bi pri kretanju automobila opstrujavanje vazduha u zadnjem delu automobila bilo efikasnije – zadnji točkovi su namenski delimično prekriveni oplatom (vid. sliku 148). Ovo rešenje je slično dizajnu oplata oko prednjih i zadnjih točkova kod solarnog automobila *Emilia 4*.

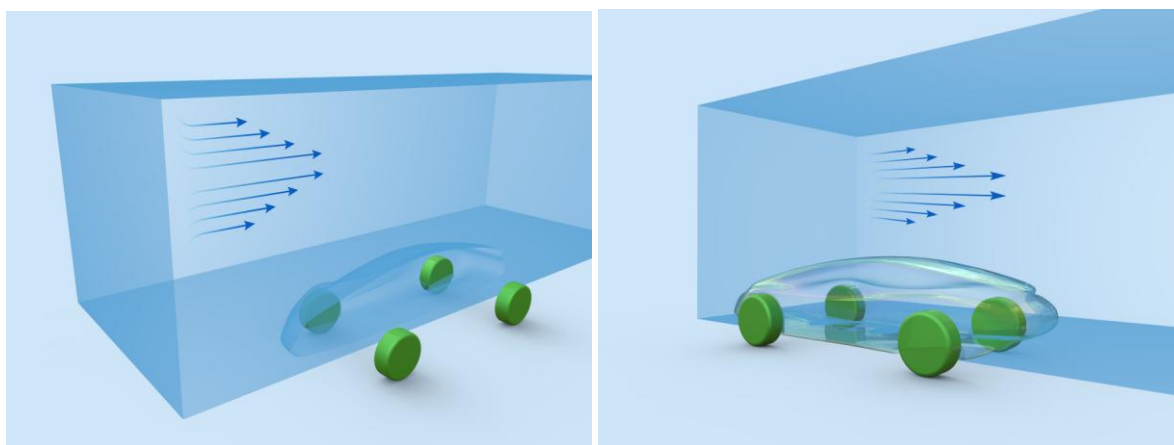


Sl. 148. Zadnji točkovi su namenski delimično prekriveni radi boljeg opstrujavanja vazduha

### 3. Analiza aerodinamike novodizajniranog električnog automobila – CFD simulacije

Na Mašinskom fakultetu u Beogradu izvršena je numerička i vizuelna analiza (procena) aerodinamike novodizajniranog električnog automobila korišćenjem kompjuterske CFD (*Computer Fluid Dynamics*) simulacije u specijalizovanom softverskom paketu *Ansys Fluent*. Primenjeni su turbulentni model  $k - \epsilon$  i numerička šema: *simple*. Opstrujavanje vazdušne mase posmatrano je kao *stacionarno*, tj. zaračunata je ista (konstantna) ulazna i izlazna brzina protoka vazduha – bez promena strujnih veličina u jedinici vremena.

Površinski 3D model novog automobila postavljen je u tzv. *domen* (virtuelni kvadar) za unos svih neophodnih parametara za numeričku analizu opstrujavanja vazdušne mase oko tela automobila (vid. sliku 149). Na ulaznoj i izlaznoj površini *domena* definisani su: statički pritisak (1 bar), brzina strujanja gasa-vazduha ( $70 \text{ km/h} = 19 \text{ m/s}$ ) i temperatura gasa ( $288 \text{ K} \approx 15^{\circ}\text{C}$ ).



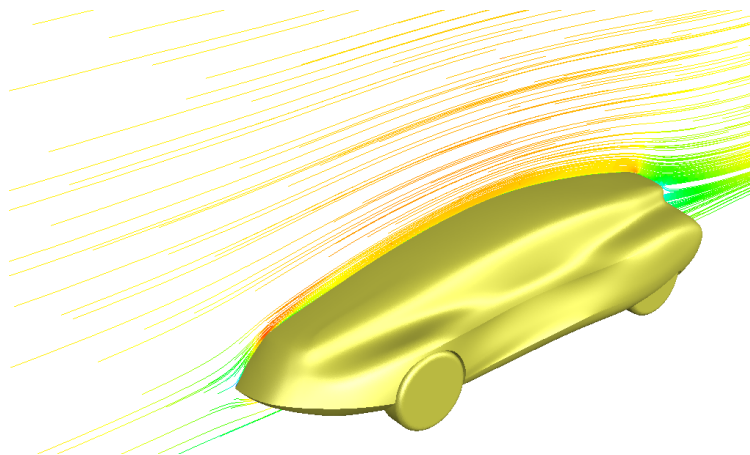
Sl 149. *Domen* (virtuelni kvadar) za numeričku CFD analizu opstrujavanja vazdušne mase

3D model automobila pretvoren je u gustu mrežu poligona (*mesh*). Model prolazi zadatom konstantnom brzinom kroz digitalni aero-zid, takođe kao *mesh* velike gustine. Numerička mreža automobila sastojala se od 400.000 poligona dok je *domen* imao 1.100.000 poligona (vid. sl. 150).



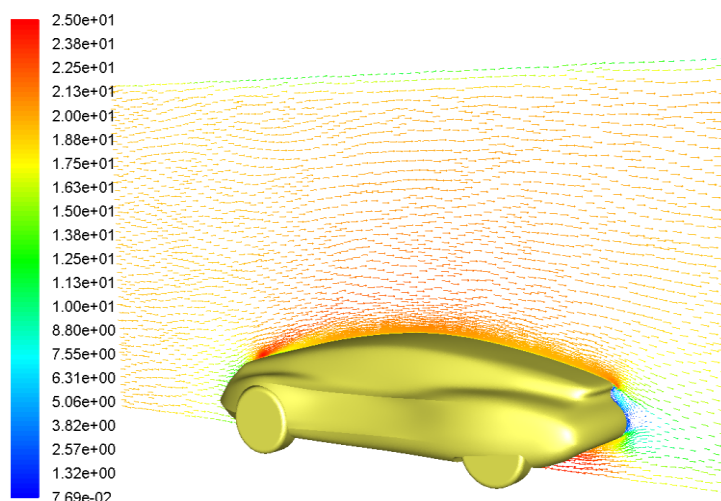
Sl. 150. Numerička mreža automobila i njegov u položaj u *domenu*

Kroz vizuelizaciju kompjuterskih matematičkih proračuna simulacije su pokazale da se tzv. strujnice (vektori vazdušnih masa) prostiru u ravni uzdužne ose simetrije automobila, a to znači da su veoma priljubljene uz gornju površinu automobila (čeonu i krovnu), te da se kreću paralelno sa njom (vid. sliku 151). Na ovaj način došlo se do prirodnog efekta povećanja potisne sile vazdušne mase na karoseriju, u pravcu nadole (*down-force*), što pospešuje aerodinamičnost automobila.



Slika 151. Tok strujnica (vektora vazdušnih masa) u ravni uzdužne ose simetrije automobila

Kako je dizajnerskim rešenjem predviđen na automobilu *Venturijev tunel*, obezbeđen je venturi efekat: u izvršenoj simulaciji vektori pokazuju miran protok vazduha ispod donje površine automobila, a protok je skoro paralelan pri izlasku iz „repnog“ dela automobila. Na taj način postignuta je fizička zakonitost dodatnog prirodnog ubrzanja pri kretanju automobila (vid. sl. 152).

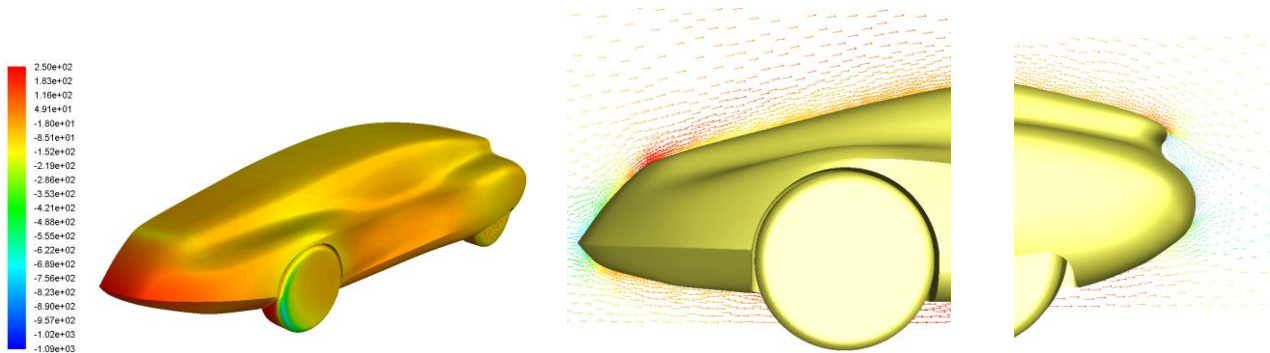


Sl. 152. Vektori brzine strujanja vazduha oko konture automobila u ravni uzdužne ose simetrije automobila

Grafički prikazi (crvena i narandžasta boja) pokazuju da se tačka najjačeg frontalnog pritiska (**Pa**) nalazi na samom vrhu čeonog dela automobila dok je na zadnjem („repnom“) delu

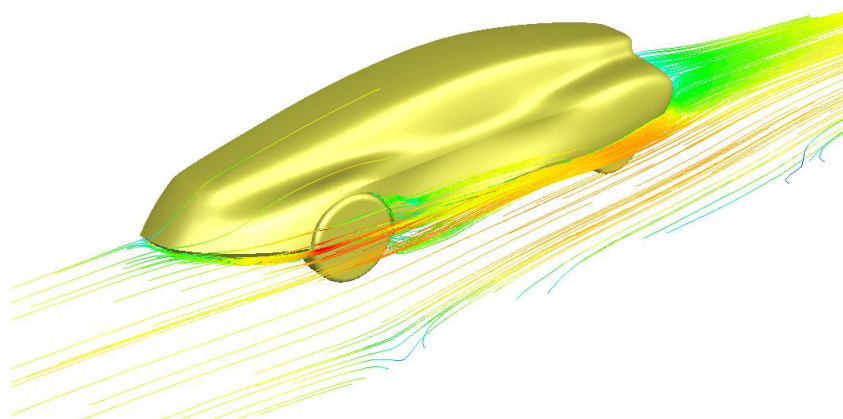


automobila potvrđena izrazita tendencija umirenja vazdušne mase (plava i zelena boja), bez većih turbulentnih kovitlanja – vorteksa (vid. sliku 153).



Sl. 153. Raspodela statičkog pritiska (**Pa**) na na čeonj i „repnoj“ površini automobila

Dizajnerskim rešenjem je predviđeno da su prednji točkovi automobila potpuno otkriveni (radi skretanja nalevo i nadesno), a da su zadnji delimično prekriveni oplatom. CFD simulacija je potvrdila da opstrujavanje vazduha oko zadnjih točkova ima miran i paralelan tok sa telom automobila, dok se oko prednjih točkova stvara zona blagog kovitlanja – vorteksa (vid. sliku 154). Ove eksperimentalne potvrde na svoj način ukazuju na opravdanost dizajnerskog rešenja primenjenog kod solarnog automobila *Emilia 4* sa oplatama i nad prednjim i nad zadnim točkovima.



Sl. 154. Strujnice pokazuju mirniji tok opstrujavanja vazduha oko zadnjih točkova automobila (sa oplatama)

Sve prikazane CFD simulacije i analize potvrdile su da su naučni principi aerodinamike koji su primenjeni u dizajniranju novog električnog automobila (a prethodno prostudirani i primenjeni u dizajniranju solarnog automobila *Emilia 4*) obezbedili njegovu izrazitu aerodinamičnost, sa koeficijentom otpora vazduha od svega **Cd** 0,23. U savremenoj automobilskoj industriji svaki koeficijent u rasponu od **Cd** 0,20 do **Cd** 0,28 smatra se izuzetno niskim kod serijski prozvedenih automobila u svim klasama, zajedno sa njihovim karakterističnim tehničkim, voznim i brzinskim performansama.

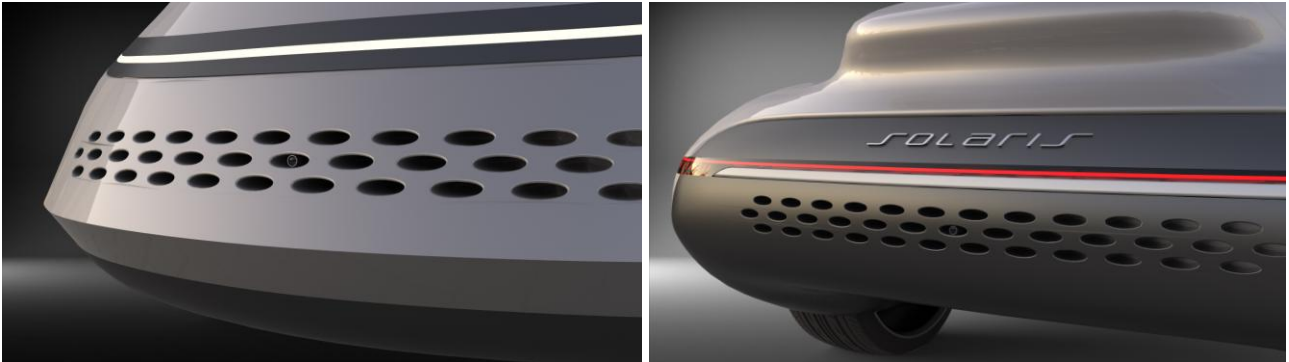
### 15.3. Raspored pogonskog sistema i baterija, položaj putnika i prtljažni prostor

U procesu kreiranja novog dizajnerskog rešenja predviđen je prostor za raspored elemenata *package*-a. Setovi paketa baterija raspoređeni su u module aluminijumskih kućišta, koji su raspoređena u dva dela: u centralnom donjem delu šasije i u zadnjem („repnom“) delu automobila, ispod prtljažnog prostora, dok su elektromotor i ostali elektro-mehanički sklopovi (*powertrain*) smešteni u prednjem, čeonom delu automobila (vid. sliku 155). Konvertor solarne energije (*converter / inverter*) nalazi se iza zadnjeg desnog sedišta. Ovakvom preraspodelom svih elemenata unutrašnjeg sklopa postignuto je nisko težište automobila, koje doprinosi stabilnosti tokom vožnje, a obezbeđena je i ravnomerna raspodela ukupne mase u vozilu. Time je ujedno omogućen konforan kabinski prostor za sva četiri putnika.



Sl. 155. *Package* automobila: a) pozicija pogonskog sistema – *powertrain*, baterija i konvertora; b) pozicija sedenja putnika; c) pozicija sedišta za putnike, sa prtljažnim prostorom u zadnjem delu automobila

Na čeonom delu (maski) automobila nalaze se prorezi (rupice, *grill*), tj. usisnici za vazduh, koji služe za protok vazduha za hlađenje mehaničkog i elektronskog sklopa automobila. Isto takvi prorezi postoje i na „repnom“ delu automobila i služe za odvod toplog vazduha koji se stvara oko električnih baterija. I prednji i zadnji prorezi imaju takođe estetsku funkciju jer dopunjuju i obogaćuju ukupan izgled čeonog i „repnog“ dela automobila, gde dominiraju tanke linije svetlosnih grupacija. Ovakvi prorezi karakteristični su za sportske automobile tipa *supercars* i *hypercars*. U prednjem i zadnjem braniku automobila nalaze se video kamere za sistem nadledanja uokolo (360<sup>0</sup>) i senzori, koji zvučnim signalom ukazuju na blisku prepreku automobilu (vid. sliku 156).



Sl. 156. Prorezi na čeonom i „repnom“ delu automobila za protok vazduha i hlađenje mehaničkog sklopa

Krovnu konstrukciju automobila drže standardni prednji A i centralni B stub, dok je pozicija C stuba utopljena u klinasto oblikovan i spušten „rejni“ deo. Na njima je pričvršćeno četvero vrata, kako je to inače u kategoriji *fast-back* automobila za četiri osobe (vid. sliku 157). Standardni raspored i način otvaranja vrata omogućavaju putnicima konforan i bezbedan ulazak i izlazak.

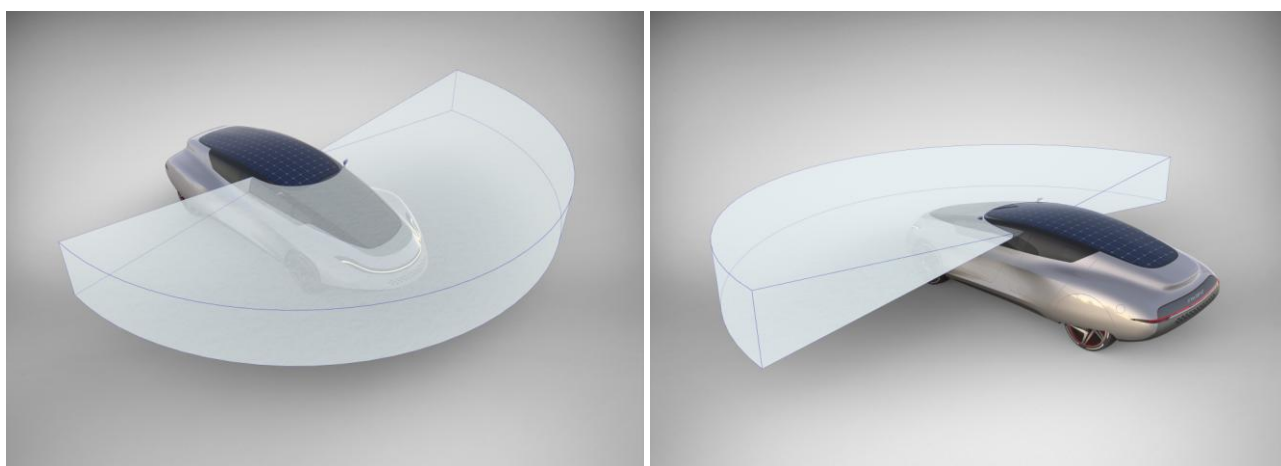
Kao i kod savremenih električnih i sportskih automobila, u izradi karoserije i delova sklopa automobila moguća je primena kompozitnih materijala (pre svega karbonskih vlakana) i legura aluminijuma, titanijuma i magnezijuma.



Sl. 157. Izgled automobila sa otvorenim vratima za četvoro putnika

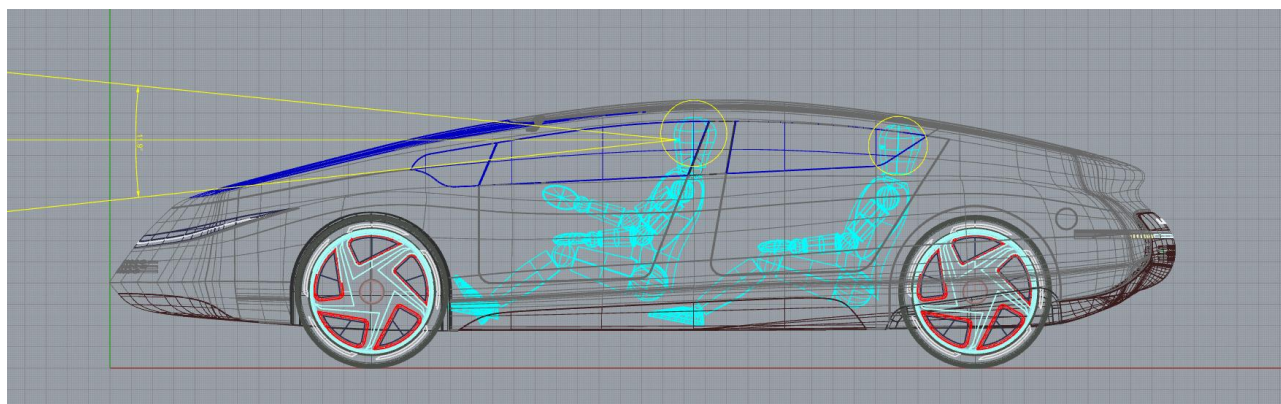
#### 15.4. Vidno polje i distanca između glava putnika i krova automobila

Ovim dizajnerskim rešenjem obezbeđeno je vidno polje od  $180^{\circ}$  za vozača u kabini – prema standardnoj poziciji kukova (*H-point*) sedećeg manekena visine 180 cm u sportskom automobilu, po standardu *SAE (J826) 95 percentile* (vid. sliku 158). A po vertikalnoj osi ugao iznosi  $12^{\circ}$  na četiri metra razadaljine ispred vozila, od tačke visine oka vozača. Zbog postavljenih solarnih panela na krovu automobila, ne postoji zadnje staklo (prozorska površina). Predviđen je savremeni centralni sistem video-kamera, koje su raspoređene u prednjim i zadnjim branicima, kao i u bočnim malim retrovizorima. Takav sistem daje objedinjenu sliku na centralnom *display*-u na instrument-tabli u kabini i pospešuje preglednost saobraćaja okolo automobila, u vidnom polju od  $360^{\circ}$ .



Sl. 158. Prikaz vidnog polja od  $180^{\circ}$  sa pozicije vozača u kabini automobila

Predviđena je potrebna distanca između glava putnika i unutrašnje linije krova automobila: 83 mm za putnike na prednjem i 46 mm na zadnjem sedištu. Takođe je predviđeno i dovoljno rastojanje u odnosu na bočne prozorske površine, što doprinosi dobroj preglednosti i sveukupnoj bezbednosti svih putnika tokom vožnje (vid. sliku 159).



Sl. 159. Prikaz dovoljne sigurnosne distance od glave putnika do unutrašnje linije krova automobila

## 15.5. Napajanje električnom energijom – solarni paneli, elektropunjači i rekuperacija

Na krovu automobila nalaze se blago povijeni (po poprečnoj osi) solarni paneli površine 3 m<sup>2</sup> (vid. sliku 160). Iz panela solarna energija se prenosi do unutrašnjeg elektrokonvertora, što omogućava proizvodnju električne energije od 660 W. Ta količina energije dovoljna je za dopunsko napajanje elektrouređaja unutar automobila. Automobil se primarno napaja iz elektromreže, preko javnih putnih ili kućnih elektropunjača (vid. sliku 161), kao i putem procesa *rekuperacije*, kočione sile koja se vraća u unutrašnji sistem automobila kao novostvorena električna energija.



Sl. 160. Solarni paneli na krovnoj površini automobila za dopunjavanje električnih baterija



Sl. 161. Način napajanje automobila energijom iz elektromreže preko elektropunjača

### 15.6. Izgled točkova, felni i guma

Prednji točkovi su otkriveni, a ugao njihovog skretanja je standardan: ka spoljašnjoj strani iznosi maksimalno  $23^{\circ}$ , a ka unutrašnjoj strani maksimalno  $18^{\circ}$  (tako je i kod solarnog automobila *Emilia 4*). Kao što je rečeno, zadnji točkovi su delimično pokriveni oplatom radi efikasnijeg opstrujavanja vazduha pri kretanju automobila. Na felnama je zastupljen dizajnerski motiv sa pet krakova (*spoke*), što stvara vizuelni utisak da je vozilo u pokretu i kad zapravo stoji. Time se potencira opšti vizuelni utisak o aerodinamičnosti automobila. Tome doprinose i beli segmenti (lučne trake) implementirani na spoljašnjoj strani guma. Na gumama je primenjen sportski dezen šara, koji omogućava bolju silu prijanjanja („trakciju“) i veću silu pri kočenju (vid. sl. 162).



Sl. 162. Izgled točkova, felni i guma, kojima se potenciraju sportski izgled i dinamičnost automobila

## 15.7. Grafika proizvoda (automobila)

Prednja svetlosna grupacija („farovi“) oblikovana je u vidu neprekidne dugačke LED svetlosne trake, koja naglašava originalni izgled automobila aerodinamičnih i sportskih karakteristika. Isti stilski izraz primenjen je i kod zadnje svetlosne grupacije: u dugoj crvenoj liniji implementirana su „stop-svetla“, s tim što je na krajnjim bokovima ova linija podržana malim dodacima u vidu svetlosnih „rečki“, koje su su ujedno i pokazivači pravca. Tome se na diskretan način formira takozvani grafički svetlosni potpis određenog vozila – *Graphic Light Signature* (vid. sliku 163).



Sl. 163. Grupacije prednjih i zadnjih svetala u obliku tankih svetlosnih LED linija

Poseban skriveni efekat – DLO (*Day Light Opening*) pojavljuje se kada u zatamnjenom prostoru snop svetlosti dolazi odozgo. Na taj način se vizuelno otkrivaju i topologija forme i karakteristične linije, površine i volumeni spoljašnjeg oblika, kao što su takozvane: *belt* linija – donja linija razdvajanja bočnih prozorskih površina; *shoulder* linija – dominantna gornja bočna linija, koja počinje iznad prednjeg točka i utapa se u zadnji („repni“) deo automobila; *lower-character* linija – linija ispod vrata (vid. sliku 164).



Sl. 164. *Day Light Opening* – efekat prepoznavanja karakteristične siluete, linija i kontura automobila

Iznad zadnje LED svetlosne trake nalazi se, po sredini, hromirani naziv automobila (*Solaris*), a ispod trake je izdužena ukrasna hromirana lajsna. Ovi detalji dodaju ukupnom izgledu automobila izvesnu dozu ekskluzivnosti (vid. sliku 165). Karoserija automobila može imati razne kolorističke varijante, a najatraktivnije su srebrna i sjajna metalik bronzana boja (vid. sliku 166).



Sl. 165. Detalji iznad zadnje LED svetlosne trake: naziv automobila *Solaris* i izdužena ukrasna lajsna



Sl. 166. Dve kolorističke varijante karoserije automobila: srebrna i sjajna metalik bronzana boja



Nakon svih mojih istraživanja forme u 3D softveru, završnu fazu u procesu dizajniranju predstavljaju tehnike i postupci za foto-realistično prikazivanje finalnog proizvoda. Osnovu svake savremene digitalne vizuelizacije (*3D rendering*) čini postupak postavljanja virtuelne scene i materijalizacije putem postupka *HDR-imaging* (engleski: *High Dynamic Range* / „slike visokog dinamičkog raspona“). Ovim postupkom možemo dočarati ukupan izgled automobila u različitim realnim urbanim ili prirodnim ambijentima i svetlosnim okruženjima (vid. sliku 167).



Sl. 167. Digitalni rendering automobila u realnom okruženju: na asfaltnom putu u pustinjskom ambijentu

## ZAKLJUČNA RAZMATRANJA – UMETNIČKO-ISTRAŽIVAČKI DOPRINOS

Danas postoji globalna težnja u svetu da se iznađu efikasni načini napajanja automobila obnovivim izvorima energije, alternativnim u odnosu na klasične SUS motore, čime bi se omogućio ekološki prihvatljiviji vid drumskog saobraćaja, sa krajnjim ciljem da se postigne *nulta emisija gasova (zero-emission)* u saobraćaju. Ta težnja iskazana je u automobilizmu u nekoliko pravaca.

Jedan pravac vezan je za izradu solarnih automobila, a motivisan je upravo idejom da se podstaknu istraživanja koja bi u perspektivi omogućila implementaciju pogona na električnu energiju solarnog porekla u serijski proizvedenim vozilima. Tako su 1987. godine začeta takmičenja (trke) solarnih automobila koja se održavaju na dugim kontinentalnim stazama: *World Solar Challenge* u Australiji, *American Solar Challenge* u SAD i druga: u Južnoj Americi, Evropi, Africi i na Bliskom istoku. Na takmičenjima se primenjuju propisana pravila koja vrednuju, uz optimalan utrošak solarne energije, pre svega izdržljivost i bezbednost takmičarskih automobila. Ova pravila istovremeno definišu stroge funkcionalno-tehničke zahteve (parametre) na kojima se zasniva konstrukcija, dizajn, funkcionisanje i bezbednost solarnih automobila. Tako se proces dizajniranja, projektovanja, konstruisanja i izrade takmičarskog solarnog automobila u kategoriji *Cruiser* („kruzer“ / „krstarica“) znatno razlikuje od odgovarajućeg procesa kod standardnih putničkih automobila, koji su namenjeni masovnoj serijskoj proizvodnji i opštoj upotrebi u saobraćaju. Stoga samo visoko tehnološki razvijene kompanije i najugledniji univerziteti u svetu imaju mogućnost da formiraju multidisciplinarnе timove za izradu solarnih automobila raznih kategorija. Među njima je i italijanski nacionalni takmičarski i multidisciplinarni tim *Onda Solare*, pod naučnim okriljem Univerziteta u Bolonji. Primenjujući pravila takmičenja *World Solar Challenge 2015*, ovaj tim se prvi put našao pred izazovom izrade solarnog automobila u kategoriji *Cruiser*, za četiri osobe.

Na drugoj strani, u savremenoj automobilskoj industriji postoji tendencija proizvođača da kupcima udovolje ponudom novih i raznovrsnih originalnih modela automobila, različitih klasa, oblika i cenovnih kategorija. Tako dizajnerski i konstruktorski timovi svih svetski poznatih proizvođača osmišljavaju nove klase vozila, koje predstavljaju zapravo svojevrsno ukrštanje (*cross-over*) različitih uobičajenih segmenata postojećih kategorija vozila i novih konstrukcionih i dizajnerskih rešenja. To anticipira sve veću kreativnu slobodu dizajnera u radu. Pored toga, serijskom proizvodnjom električnih automobila u prvoj dekadi XXI veka već je započeta nova era u automobilskoj industriji. Za sada proizvođači prave za komercijalno tržište ekološki prihvatljivija vozila u dve osnovne varijante: vozila na isključivo električni pogon i tzv. hibridna vozila, sa kombinacijom električnog i SUS motora, a države na razne načine stimulišu kupovinu obe ove vrste

automobila. Serijska proizvodnja i sve veća upotreba električnih automobila neposredno utiču na arhitekturu vozila, koja se postepeno menja u odnosu na standardna vozila. To dizajnerima nameće nove zadatke, ali pruža i nove mogućnosti u postavkama elemenata *package*-a i vizuelnog izgleda (stajlinga) automobila.

\* \* \*

U Srbiji se za sada niko ne bavi izradom takmičarskih solarnih automobila, bilo kojih kategorija/klasa. Uključivši se, kao doktorand, u rad na projektu multidisciplinarnog tima *Onda Solare* u Bolonji, stekao sam velika nova praktična iskustva i znanja u jednoj veoma specijalizovanoj oblasti naučnog i umetničkog stvaralaštva kao što je dizajniranje, konstruisanje i izrada solarnih automobila u kategoriji *Cruiser*. Moj rad na istraživanju dizajna budućeg automobila u toj kategoriji prošao je kroz nekoliko faza, uz primenu specifičnih 2D i 3D softvera i tehnika rada, a uz uvažavanje naučnih principa aerodinamike. Sva dizajnerska rešenja koja su nastala u pojedinim fazama rada bila se predmet eksperimentalne provere u tzv. CFD (*Computer Fluid Dynamics*) aerodinamičkim simulacijama. Na taj način došlo se do konačnog dizajnerskog rešenja, koje je usvojeno i primenjeno u proizvodnji solarnog automobila u kategoriji *Cruiser*, nazvanog *Emilia 4* po matičnoj regiji. Dva faktora su ograničavala i usmeravala moj rad kao dizajnera. Pre svega, svi članovi multidisciplinarnog tima *Onda Solare* imali su obavezu da se pridržavaju strogih funkcionalno-tehničkih zahteva sadržanih u pravilniku *World Solar Challenge 2015*. Kao dizajner imao sam istovremeno obavezu da stalno imam u vidu i dodatne smernice tima *Onda Solare*: dizajn treba da predstavlja originalno, celovito, funkcionalno, estetsko i tehničko-tehnološko rešenje tako da doprinese što boljim aerodinamičnim performansama budućeg takmičarskog solarnog automobila u kategoriji *Cruiser*, ali i da svojim stajlingom bude prepoznatljiv na predstojećim takmičenjima solarnih automobila. Može se zaključiti da urađeni solarni automobil *Emilia 4* u kategoriji *Cruiser* predstavlja u dizajnerskom i estetskom pogledu *neminovan kompromis* u primeni svih propisanih funkcionalno-tehničkih zahteva i smernica stručnjaka raznog profila (konstruktori, aerodinamičari, mašinski i elektroinženjeri, menadžeri) u sastavu projektantskog tima *Onda Solare*. Aerodinamične i takmičarske performanse dizajniranog i realizovanog automobila *Emilia 4* valorizovane su na takmičenju (trci) solarnih automobila *American Solar Challenge* (SAD, 2018), gde je osvojio prvo mesto u svojoj kategoriji, uz dve specijalne nagrade.

\* \* \*

I pored toga što neki od realizovanih prototipova solarnih automobila imaju dizajn koji je prilagođen i potencijalnoj upotrebi u javnom saobraćaju, za sada na slobodnom tržištu ne postoji ponuda solarnih automobila komercijalnog karaktera. Međutim, realnu perspektivu ima proizvodnja električnih automobila, koja u svetu kontinuirano raste od početka XXI veka. To me je inspirisalo

da, na osnovu iskustva i znanja stečenog u Italiji, kao i u svojoj ranijoj profesionalnoj praksi, uz uvažavanje aktuelnih tendencija u automobilskoj industriji – pristupim dodatnim umetničkim i akademskim istraživanjima sa idejom da se dođe do drugačijeg, dizajnerski i estetski unapređenog, konceptualnog rešenja novog električnog automobila. Automobil bi bio namenjen za opštu upotrebu u drumskom saobraćaju i napajao bi se iz elektromreže, uz mogućnost dodatnog napajanja preko implementiranih solarnih panela na krovu automobila, što predstavlja svojevrsnu tehničko-tehnološku inovaciju. U realizaciji ove ideje bio sam mentorski podržan i usmeravan. Skulpturalno-umetničko istraživanje varijacija forme u virtuelnom prostoru, u specijalizovanim 3D softverima, poslužilo je za izradu nekoliko istraživačkih dizajnerskih studija. Kao i pri dizajniranju solarnog automobila *Emilia 4*, primenjeni su naučni principi aerodinamike, a kao ideja vodilja primenjen je NACA profil (*NACA airfoil*) u vidu poprečnog preseka avionskog krila, koji predstavlja bazični funkcionalni princip aerodinamike, uz dodatno ubrzanje na osnovu tzv. venturi efekta.

Novo rešenje dizajna električnog automobila definisano je na način koji reprezentuje moj lični dizajnerski jezik (*design language*). Kreirana topologije forme karoserije daje ovom dizajnerskom rešenju nov, originalan futuristički karakter i sugeriše prepoznatljivost u okviru klase kupe-limuzina (*fast-back*). Igrom konkavno-konveksnih površina, linija i volumena automobil je dobio upečatljiv izgled: semantički podseća na dinamičnu pokretnu skulpturu – kao da je izlivena iz jednog komada. Novi model električnog automobila – simbolično nazvan *Solaris* – predstavlja inovativnu dizajnersku interpretaciju decenijama popularne kategorije „mišićavih“ automobila (*muscle-car*). Eksperimentalne provere u vidu aerodinamičkih CFD simulacija potvrdile su da naučni principi aerodinamike koji su primenjeni u dizajniranju obezbeđuju izrazitu aerodinamičnost ovog koncepta automobila.

Primena aerodinamičkih principa i savremenih kompjuterskih metoda rada, u skladu sa meni svojstvenim skulpturalnim pristupom obradi forme kod oba dizajnerska rešenja o kojima je bilo reči u ovom radu – predstavlja moj umetničko-istraživački doprinos u sferi dizajna automobila, koji se stavlja na uvid i raspolaganje široj i istraživačko-akademskoj zajednici.

## IZVORI I LITERATURA

### 1. Izvori

- a) Grafički prikazi aerodinamičkih CFD simulacija na slikama u tekstu rada urađeni su na Departmanu za industrijsko inženjerstvo Univerziteta u Bolonji (*Dipartimento di Ingegneria Industriale – DIN, Università di Bologna*) i na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu.
- b) Fotografije iz arhiva udruženja *Onda Solare* (Bolonja); fotografije i drugi slikovni prilozi sa interneta (slobodan pristup).
- c) Fotografije iz lične arhive Marka Lukovića i njegove skice, digitalno kolorisane skice i kompjuterske 3D vizuelizacije.

### 2. Literatura

#### a) Štampana i elektronska izdanja

Ahmed, S. R. Ahmed, G. Ramm. 1984. *Some Salient Features of the Time-Averaged Ground Vehicle Wake*, SAE-Paper 840300. Troy (MI, SAD): SAE international, SAE Mobilus.

Bell, Jonathan. 2003. *Concept Car Design. Driving The Dream*. Mies (Switzerland): A RotoVision Book.

Boxwell, Michael. 2019. *The Solar Electricity Handbook: 2019 Edition*. London (United Kingdom): Bellu, Serge. 2002. *500 Fantastic Cars. A Century of the World's Concept Cars*. Paris (France): Èditions Solar. Greenstream Publishing.

Carroll, Douglas R. 2003. *The Winning Solar Car: A Design Guide for Solar Race Car Teams*. Troy (Michigan, USA): Society of Automotive Engineers.

Dredge, Richard. 2007. *Concept Cars and Prototypes Concept car design: Exploring the Future of Automobile*. Rochester (UK): Richard Amber Books Ltd.

Fiell, Charlotte and Peter Fiell. 2006. *Industrial Design A–Z*. Köln/London/Los Angeles/Madrid/Paris/Tokyo: Taschen GmbH.

Frauenfelder, Mark (Ed.). 2014. *Ultimate Guide to 3D Printing*. Sebastopol: Maker Media.

Horvath, Joahn. 2014. *Mastering 3D Printing (Technology in Action)*. New York: Apress.

Krasnov, N.F. 1986. *Aerodynamics: Fundamentals of Theory. Aerodynamics of an Airfoil and Wing. Methods of Aerodynamic Calculation Hardcover. April 1* (eBook).

Kuethe, Arnold M. and Chuen-Yen Chow. *Foundations of Aerodynamics: Bases of Aerodynamic Design*. 5th ed. (eBook).

- Lewin, Tonny, with Ryan Borroff. 2003. *How to: Design Cars like a Pro. A Comprehensive Guide to Car Design from the Top Professionals*. St. Pual (MN, USA): Motorbooks International.
- Lintelmann, Reinhard. 2008. *1000 Concept Cars. Ideen, Entwicklungen, Utopien*. Köln (Deutschland): Naumann und Goebel Verlagsgesellschaft mbH.
- Lipson, Hod. 2013. *Fabricated: The New World of 3D Printing*. Indianapolis: John Wiley & Sons.
- Luković, Marko. 2006/2007. *Metode i tehnike upotrebe CAD/CAM softvera u industrijskom dizajnu i njihova primena u redizajnu kabine kamiona Eurozeta*. Magistarski rad. Mentor prof. Kosta Krsmanović. Beograd (rad se nalazi u biblioteci Fakulteta primenjenih umetnosti u Beogradu).
- Macey, Stuart, with Geoff Wardle. 2008. *H-Point: The Fundamentals of Car Design and Packaging*. Culver City (CA, USA): Design Studio Press.
- McNeel, Robert. 2002. *Rhinoceros. NURBS modeling for Windows. Version 3.0.Users Guide*. USA: Robert McNeel & Associates.
- Meile, W. et alt. *Experiments and Numerical Simulations on the Aerodynamics of the AhmedBody* (eBook).
- Olofson, Erik and Klara Sjölen. 2006. *Design Sketching*. Klipan (Sweden): Ljungberg Tryckery AB.
- Panero, Julius i Martin Zelnik. 1990. *Antroploške mere i enterijer. Zbirka preporuka za standarde u projektovanju*. Beograd: IRO „Građevinska knjiga“.
- Phillips, Adam. 2005. *SuperCars. Driving the Dream*. Sywell (United Kingdom): Igloo Books Ltd.
- Powell, Dick. 1988. *Completely revised and updated. Presentation Techniques. A guide to drawing and presenting design ideas*. London & Sydney: Macdonald and Co (Publishers) Ltd.
- Rizvi, Syed Wahb Mehdi (2142342). *Design and Optimisation of a Solar Array for the Flinders Solar Car*. Master Thesis (18-units). Academic Supervisor: Dr. Stuart Wildy. 5th December 2016.
- Thacher, Eric Forsta. 2015. *A Solar Car Primer Guide to the Design and Construction of Solar-Powered Racing Vehicles*. Switzerland: Springer International Publishing (eBook).
- Thakur, Vijay Kumar, Manju Kumari Thakur and Michael R. Kessler (Eds.). *Handbook of Composites from Renewable Materials. Volume 6. Polymeric Composites*. Hoboken (New Jersey, USA): John Wiley & Sons, Inc. (eBook).
- Xiao-Su Yi, Shanyi Du, Litong Zhang (Eds.). 2018. *Composite Materials Engineering. Volume 1. Fundamentals of Composite Materials*. Beijing (Chemical Industry Press) & Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. (eBook).
- Xiao-Su Yi, Shanyi Du, Litong Zhang (Eds.). 2018. *Composite Materials Engineering. Volume 2. Different Types of Composite Materials*. Beijing: Chemical Industry Press) & Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. (eBook).
- Zumbrunn, Michel und Robert Cumberford. 2007. *Auto-Legende. Klassiker in Still und Design*. München: Bassermann, Verlag.

## b) Vebografija

-Aerodynamics: Flow around the Ahmed Body:

<https://www.simscale.com/docs/validation-cases/aerodynamics-flow-around-the-ahmed-body/> (pristup: 02. 03. 2016).

-Aerodynamics. Tony Foale 1986–1997: <https://motechassis.com/Articles/Aerodynamics/AERO.htm> (pristup: 12. 08. 2020).

-Alternative Fuel Alternative fuels for cars: what does the future hold? By Jamie Thomson and Erika Granath:

[https://www.intelligent-mobility-xperience.com/alternative-fuels-for-cars-what-does-the-future-hold-a-920239/?cmp=go-ta-art-trf-IMX\\_DSA-20200217&gclid=EAIAIQobChMIjgetx6D36wIVvCB7Ch11kA8rEAAYASAAEgJSD\\_D\\_BwE](https://www.intelligent-mobility-xperience.com/alternative-fuels-for-cars-what-does-the-future-hold-a-920239/?cmp=go-ta-art-trf-IMX_DSA-20200217&gclid=EAIAIQobChMIjgetx6D36wIVvCB7Ch11kA8rEAAYASAAEgJSD_D_BwE) (pristup: 13. 03. 2016)

-Ansys Fluent: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent> (pristup: 04. 02. 2016).

-Car Aerodynamics Basics and How-To Design Tips. Aerodynamic Principles:

<https://www.buildyourownracecar.com/race-car-aerodynamics-basics-and-design/2/> (pristup: 18. 01. 2016).

-CFD – online Ahmed body Brief Description. From Wikipedia, the free encyclopedia: [https://www.cfd-online.com/Wiki/Ahmed\\_body](https://www.cfd-online.com/Wiki/Ahmed_body) (pristup: 12. 03. 2016).

-Durham University Solar-Powered Car – Power Point presentation. The Design of the Durham University Solar-Powered Car DUSC <https://slideplayer.com/slide/5157217/> (pristup: 26. 01. 2016).

-Ground effect: [http://www.formula1-dictionary.net/ground\\_effect.html](http://www.formula1-dictionary.net/ground_effect.html) (pristup: 18. 01. 2016).

-Exploring the Venturi Effect. By Caty Fairclough: <https://www.comsol.com/blogs/exploring-the-venturi-effect/> (pristup: 18. 01. 2016).

-Lotus Modell 79-wing-profile: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lotus\\_Modell\\_79\\_wing-profile.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lotus_Modell_79_wing-profile.svg) (pristup: 18. 01. 2016).

-Milica Antić, „Kompozitni materijali / Composite Materials“, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, br. 1/2016, Beograd, 2016, str. 19–28. <https://pdfslide.tips/documents/antic-milica-dipl-ing-1-kompozitni-materijali-scindeks-niti-obicno> (pristup: 28. 05. 2018).

-NACA airfoils. <https://www.nasa.gov/image-feature/langley/100/naca-airfoils> (pristup: 29. 02. 2016).

-NACA airfoils. From Wikipedia, the free encyclopedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/NACA\\_airfoil](https://en.wikipedia.org/wiki/NACA_airfoil) (pristup: 23. 02. 2016).

-Pressure drag: a factor of shape Aerodynamics: Lesson 6 The shape coefficient is a Factor:

<https://www.presticebdt.com/aerodynamics-lesson-6-the-shape-is-a-factor-for-drag/> (pristup: 18. 11. 2015).

-Streamlined Body:

<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/streamlined-body> (pristup: 15. 10. 2015).

-Streamlining. The Free Dictionary. By Farlex:

<https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/streamlining> (pristup: 07. 09. 2015).

-Studying the Airflow Over a Car Using an Ahmed Body, by Brianne Christopher:

<https://www.comsol.com/blogs/studying-the-airflow-over-a-car-using-an-ahmed-body/> (pristup: 13. 03. 2016).

-The drag coefficient of an object in a moving fluid influence drag force *Engineering Toolbox* - Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications: [https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d\\_627.html](https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.html) (pristup: 16. 11. 2015).

-Use of a Drag Coefficient to Calculate Drag Force due to Fluid Flow past an Immersed Solid:

<https://www.brighthubengineering.com/hydraulics-civil-engineering/58434-drag-force-for-fluid-flow-past-an-immersed-object/> (pristup: 23. 09. 2015).

-[https://en.wikipedia.org/wiki/La\\_Jamais\\_Contente](https://en.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_Contente) (pristup: 16. 01. 2016).

-<https://www.conceptcarz.com/vehicle/z17970/la-jamais-contente.aspx> (pristup: 16. 01. 2016).

-[https://www.researchgate.net/figure/La-Jamais-Contente-1-1899-Camille-Jenatzy-first-10588km-h-electric-1450kg-where\\_fig8\\_267243722/download](https://www.researchgate.net/figure/La-Jamais-Contente-1-1899-Camille-Jenatzy-first-10588km-h-electric-1450kg-where_fig8_267243722/download) (pristup: 16. 01. 2016).

-[https://en.wikipedia.org/wiki/ALFA\\_40/60\\_HP](https://en.wikipedia.org/wiki/ALFA_40/60_HP) (pristup: 18. 01. 2016).

-<https://www.carolenash.com/news/classic-car-news/detail/designer-day-paul-jaray> (pristup: 16. 01. 2016).

-[https://en.wikipedia.org/wiki/Paul\\_Jaray](https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Jaray) (pristup: 17. 01. 2016).

-<https://tcct.com/news/2020/05/1921-paul-jaray-and-his-airships-on-four-wheels/> (pristup: 17. 01. 2016).

-<https://www.hemmings.com/stories/article/paul-jaray> (pristup: 20. 01. 2016).

-<https://laughingsquid.com/the-1914-aerodinamica-prototype-an-early-aerodynamic-car> (pristup: 16. 01. 2016).

-<https://www.autoevolution.com/news/the-origins-of-streamline-design-in-cars-2998.html> (pristup: 17. 01. 2016).

-<http://www.thewestologist.com/architecture-and-design/spot-a-style-streamline-moderne> (pristup: 18. 01. 2016).

-[https://en.wikipedia.org/wiki/Luigi\\_Colani](https://en.wikipedia.org/wiki/Luigi_Colani) (pristup: 19. 01. 2016).

-<https://www.nytimes.com/2019/09/18/arts/design/luigi-colani-dead.html> (pristup: 19. 01. 2016).

-<https://gmauthority.com/blog/2014/08/go-back-to-future-in-1955-with-the-gm-sunmobile/> (pristup: 23. 01. 2016).

-<https://www.wikiwand.com/en/Sunmobile> (pristup: 23. 01. 2016).

-<https://www.autonews.com/article/20160830/CCHISTORY/160829860/gm-previews-promise-of-solar-power-with-sunmobile-model-car> (pristup: 24. 01. 2016).

-<https://www.sciencelearn.org.nz/images/2182-solar-car-sketch> (pristup: 26. 01. 2016).

-<https://www.slideshare.net/9145899387/auto-speed-control-of-solar-car-at-specified-locations-like-school-zones-hospitals-residential-areas> (pristup: 27. 01. 2016).

-<https://ondasolare.com/> (pristup: 07. 12. 2015).

-<https://www.unibo.it/it/ricerca/progetti-e-iniziative/progetti-unibo-por-fesr-2014-2020-1/onda-solare> (pristup: 08. 12. 2015).

-<https://www.unibo.it/it> (pristup: 08. 12. 2015).

-<https://www.regione.emilia-romagna.it/> (pristup: 09. 12. 2015).

-[www.worldsolarchallenge.org](http://www.worldsolarchallenge.org) (pristup: 07. 12. 2015).

-<https://www.aeg-industrialsolar.de/> (pristup: 23. 01. 2016).

-<https://www.rhino3d.com/> (pristup: 15. 12. 2015).

-<https://en.wikipedia.org/wiki/T-spline> (pristup: 15. 12. 2015).

-<https://www.keyshot.com> (pristup: 15. 12. 2015).

-<https://autoportal.hr/aktualno/novosti/cd-cw-i-cx-oznake-koeficijenta-otpor-zraku-koji-odreduje-aerodinamicnost-automobila> (pristup: 28. 05. 2020).

-<https://boljafizika.wordpress.com/2012/01/27/sila-f> (pristup: 28. 05. 2020).

<https://www.dupont.com/brands/nomex.html> (pristup: 14. 05. 2017).

-<https://en.wikipedia.org/wiki/Nomex> (pristup: 14. 05. 2017).

- <https://www.creativemechanisms.com/blog/everything-you-need-to-know-about-polycarbonate-pc>

-<https://www.rsc.org/periodic-table/element/22/titanium> (pristup: 14. 05. 2017).

-[www.scmgroup.com](http://www.scmgroup.com) (pristup: 25. 03. 2016).

-<http://www.metaltig.it> (pristup: 25. 03. 2016).

-<http://www.grafitecompositi.it> (pristup: 25. 03. 2016).

-<https://www.americansolarchallenge.org/> (pristup: 03. 08. 2018).

-<https://www.americansolarchallenge.org/the-competition/american-solar-challenge-2018/> (pristup: 03. 08. 2018).

- <https://www.aathornton.com/hybrid-vehicles-simple-guide> (pristup: 13. 03. 2016).

-[https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid\\_electric\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_electric_vehicle) (pristup: 13. 03. 2016).

-<https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/uredba/reg> (pristup: 10. 07. 2021).

-<https://www.putevi-srbije.rs/index.php/elektropunjači> (pristup: 15. 08. 2021).

[https://play.google.com/store/apps/details?id=rs.mtkomex.chargeandgo&hl=en\\_US&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=rs.mtkomex.chargeandgo&hl=en_US&gl=US) (pristup: 15. 08. 2021).

-<https://www.kamatica.com/vest/srbija-dobila-jos-cetiri-punjaca-za-elektricne-automobile/63203>(pristup: 15. 08. 2021).

-<https://nova.rs/auto/evropska-unija-se-oprasta-od-dizela-i-benzinaca/> (pristup: 15. 08. 2021).

-<https://www.energetskiportal.rs/evropska-komisija-usv...>(pristup: 15. 08. 2021).

-<https://plutonlogistics.com/tag/elektricni-automobili/> (pristup: 15. 08. 2021).

-<https://www.danas.rs/ekonomija/zastava-priprema-projekata-elektromobila/> (pristup: 17. 08. 2021).





Prilog 1

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Bologna, Italy  
24<sup>th</sup> March 2015

PhD Prof Cristiano Fragassa  
DIN- Department for Industrial Engineering  
University of Bologna, Italy

### Acceptance letter

I am pleased to inform you that I'm accepting Marko Lukovic, in the name of the Department of Industrial Engineering at the University of Bologna, to work together with us on developing solar cruiser inside the Onda Solare project, using benefits of Sunbeam scholarship programme for PhD students. With my great pleasure, after I read conscientiously and carefully all research work and biography of Marko Lukovic, I consider his presents at our department inside the research grant SUNBEAM very important. References of Marko Lukovic, <http://www.marko-design.com/index.htm>, indicate an excellent research work in the field of industrial design and especially in car design and realization. His creativity, working capacity qualify him as an excellent candidate. By Marko's presence in our department for six months, working on project Onda Solare [www.ondasolare.com](http://www.ondasolare.com), we are trying to demonstrate how two aspects, industrial design and mechanical technology, apparently seem so different and distant, but however can and should actually converge into something unique.

His research will include the development of technological processes of producing specific car components using innovative materials, mostly composites. All his research will be focused on realization of design and prototype of solar cruiser. The development of mechanical solutions for structural elements, as well as some of the security checks will be realised at the Department of Industrial Engineering. In the realization of the composite parts of the vehicle will participate some of the Italian companies. The technical activity will cover:

- concept design, industrial design, models
- functional design
- structural optimization
- development of prototypes using rapid prototyping
- product engineering with choice of materials and production techniques
- production of some vital component parts of solar cruiser.

During his stay, we will be able to publish different scientific papers together and participate on different scientific national and international conferences. Considering all the references stated above, I recommend Marko Lukovic for PhD scholarship on the Department of Industrial Engineering at University of Bologna.

Sincerely

PhD Prof Cristiano Fragassa

ALMA MATER STUDIORUM • UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

VIALE RISORGIMENTO, 2 - 40136 BOLOGNA - ITALIA - C.F. 80007010376 - P.IVA IT01131710376  
FAX +39 051 2093439 - E-MAIL: [din.contabilita@unibo.it](mailto:din.contabilita@unibo.it)

**S.U.N.B.E.A.M.**  
**Structured University mobility between the Balkans and  
Europe for the Adriatic-ionian Macroregion  
Erasmus Mundus Action 2 – Strand 1**

**WORK PLAN  
for Doctorate Exchange and Post-Doc**

Prilog 2/1

**ACADEMIC YEAR 2015/2016**

Name of applicant: Assist prof. Marko Lukovic

Type of mobility:  Doctorate exchange  Post-Doc

Home institution: University of Arts in Belgrade, Faculty of Applied Arts Country: Serbia

Field of study: Mechanics and Advanced Engineering Sciences

Duration in months: 6 months

Host institution: Alma Mater Studiorum Università di Bologna Country: Italy

Contact person: Ana Pavlovic

Position of the contact person Contract professor at Department DIN, University of Bologna

**Details of the proposed study/research activity abroad:**

**Objectives of the mobility**

Exchange of scientific experiences and knowledge and improvement of research capabilities

**Proposed activities**

The University of Bologna has been involved for several years in the development of solar cars through the Onda Solare project ([www.ondasolare.com](http://www.ondasolare.com)), carried out by students, researchers and professors. The goal of this group is to combine a passion for research with the taste of the challenge, even the most extreme and seemingly impossible. There were born several prototype solar cars, meaning electric vehicles driven by solar energy alone, which, since 1999, compete globally against the more aggressive team.

Over one hundred student, researchers and professors have followed closely over the years with the company transformation on ideas into technical solutions with dexterity and skill. In this adventure, the University of Bologna has been and will always remain the main developer of much of the technology. The development of mechanical solutions for structural elements, as well as some of the security checks, have been carried out in the Department of Industrial Engineering. In the realization of the composite parts of the vehicle, as well as to procure panels, batteries, wheels and many other functional components there was leaning on the generosity of several companies, mainly from the territory.

Right now whole team is concentrated on the development of a new type of solar vehicle. First phase of construction, provides industrial design of future vehicle with a focus on functionality, fluid dynamics etc. Through mobility for doctoral students will be offered the chance to take part in design and technical development. Mobility objective is to understand the innovative technologies in the construction of electric – solar cars and by using innovative materials understand the knowledge of their production. The technical activity will cover:

- concept design, industrial design, models
  - functional design
  - structural optimization
  - development of prototypes using rapid prototyping
  - product engineering with choice of materials and production techniques
- production of some vital component parts of solar cruiser.



**Expected outcomes**

Realization and improvement of cruiser desing  
Realization of model  
Realization of the prototypes in composite materials  
Scientific articles publications  
Conference presentations

The above is the study/research activity I would like to carry out during a prospective SUNBEAM mobility at the relevant Host Institution.

I hereby declare to have checked that the proposed activities can be developed at the Host Institution.

FOR DOCTORATE EXCHANGE ONLY: I hereby declare to have checked that the proposed activities may be recognized within my domestic study plan at my Home Institution.

Applicant's signature: *Marko Ladjusic* Date: 30.03.2015

**SENDING INSTITUTION**

We confirm that the proposed work plan is approved and will be recognized.

Coordinator at Faculty/Department level:  
Name Associate Professor Marko Ladjusic

Position Vice Dean for Public Relations and International Cooperation (Faculty of Applied Arts in Belgrade, Serbia)

Signature *Marko Ladjusic*

Date 29.11.2015

Contact person at International Relations Office:

Name Jasmina Milovanovic (University of Arts in Belgrade, Serbia) [international.relations@arts.bg.ac.rs](mailto:international.relations@arts.bg.ac.rs)

Signature *Jasmina Milovanovic*

Date 24.3.2015

**RECEIVING INSTITUTION**

We confirm that the proposed work plan is approved.

Coordinator at Faculty/Department level:

Name: Cristiano Fragassa

Position Fixed term Researcher - Department of Industrial Engineering at University of Bologna

Signature *Cristiano Fragassa*

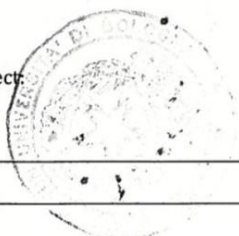
Date: 24. 03.2015

Contact person for Erasmus Mundus SUNBEAM project:

Name Romina Kniaz [diri.ecw@unibo.it](mailto:diri.ecw@unibo.it)

Signature *Romina Kniaz*

Date 30/03/2015





Erasmus  
Mundus



**SUNBEAM**  
STRUCTURED UNIVERSITY MOBILITY BETWEEN THE BALKANS  
AND EUROPE FOR THE ADRIATIC-IONIAN MACROREGION

**S.U.N.B.E.A.M.**  
**Structured University mobility between the Balkans and  
Europe for the Adriatic-ianian Macroregion**  
**Erasmus Mundus Action 2 – Strand 1**

Prilog 3

**CERTIFICATE OF ARRIVAL and DEPARTURE**

Grantee's Name and Surname: MARKO LUKOVIĆ

Home University: UNIVERSITY OF ARTS IN BELGRADE, SERBIA

Host University: ALMA MATER STUDIORUM, UNIVERSITY OF BOLOGNA

Mobility level:

- Undergraduate Exchange
- Master Exchange
- Doctorate Exchange
- Post doc
- Academic Staff
- Master Full Degree
- Doctorate Full Degree
- Administrative Staff

**1. ARRIVAL** (to be completed at the grantee's arrival at the host university)

Date of the grantee's arrival: 07.12.2015

Grantee	SUNBEAM contact person at the Host university
Signature: <u><i>Marko Luković</i></u>  <u>09.012.2015</u>	Name and Surname: <u><i>R. Maria Kucich</i></u>  Signature and Stamp: <u><i>[Signature]</i></u> 
Place and date of signature:	Place and date of signature: <u>Bologna, 07.12.2015</u>

**2. DEPARTURE** (to be completed at the grantee's departure from the host university):

Date of the grantee's departure: 30.05.2016

Grantee	SUNBEAM contact person at the Host university
Signature: <u><i>Marko Luković</i></u>	Name and Surname: <u><i>R. Maria Kucich</i></u>  Signature and Stamp: <u><i>[Signature]</i></u> 
Place and date of signature: <u>30.05.2016</u>	Place and date of signature: <u>Bologna 30/05/16</u>



Erasmus  
Mundus



**SUNBEAM**  
STRUCTURED UNIVERSITY MOBILITY BETWEEN THE BALKANS  
AND EUROPE FOR THE ADRIATIC-IONIAN MACROREGION

**S.U.N.B.E.A.M.**

**Structured University mobility between the Balkans and  
Europe for the Adriatic-Ionian Macroregion  
Erasmus Mundus Action 2 – Strand 1**

Prilog 4/1

## FINAL REPORT

Name & surname: **Marko Lukovic**  
Home university: University of Arts in Belgrade, Serbia  
Host university: **Alma Mater Studiorum, University of Bologna, Italy**  
Mobility Level: **Doctorate exchange**  
Field of study: Mechanics and Advanced Engineering Sciences

### Objectives of the mobility:

Exchange of practical creative work, scientific experiences, knowledge and improvement of research capabilities in the naturally connected fields such as industrial design and mechanical engineering are.

### Activities :

The University of Bologna has been involved for several years in the development of solar cars through the Onda Solare project ([www.ondasolare.com](http://www.ondasolare.com)), carried out by students, researchers and professors. There have been produced several prototypes of solar cars, meaning electric vehicles driven by solar energy only, since 1999.

In period of 6 months, **Marko Lukovic** was working on many different conceptual design proposals, than optimization and preparation for final automotive design of exterior and interior of totally new solar car project called *Emilia 4*, with multidisciplinary team of mechanical engineers, electrical engineers, aerodynamicists, manufacturer of the vehicle, team manager and coordinators.

The development of mechanical solutions for structural elements, as well as some of the validation and security checks has been carried out in the Department of Industrial Engineering at University of Bologna. In the realization of the composite parts of the vehicle, as well as car-body panels, batteries, wheels and many other functional components there will be leaning on the generosity of several companies, mostly from the territory of Bologna and Emilia Romagna, Italy.

### Outcomes achieved:

1) The project *Emilia 4* includes preliminary design the external shape of the car-body and interior design elements. The research process of Marko Lukovic includes artistic and creative part, also experimental part by the scientific methods of validation and optimization of many solutions and design directions, as well as part of the professional presentation, all done by specialized computer software.

2) Research and development of aesthetic and stylish articulated shape and structure applicable to the car-body and possibilities to implement in composite materials. Marko Lukovic created over 15 different exterior design proposals with very efficient aerodynamic shapes inspired by nature itself and natural environment (a drop of water, the shape of the wings ...) or artificial environment (existing examples of solar cars, other means of transport etc.)



3) Scientific approach together with aerodynamic principals as Ventury tunnel, Ahmed Body and NACA profile was considered and successfully integrated into final design of the solar cruiser that obtained superior aerodynamics coefficient that is only 0.13 cx.

4) Scientific paper-work. Authors: Lukovic Marko, Fragassa Cristiano, Pavlovic Ana, Rajic Milena  
Title of paper-work: *Car Design Process: A Sequence of Creativity And Skills*, Application number 5361 on:  
3rd INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC CONFERENCES on SOCIAL SCIENCES and ARTS SGEM 2016, 22 - 31 August, 2016, Albena Resort, Bulgaria. Papers indexing in: ISI Web of Knowledge, Web of Science, Thomson Reuters, ELSEVIER products SCOPUS, CrossRef, EBSCO, ProQuest, Google Scholar, Mendeley, CiteUlike, CrossRef Citedby Linking, British Library etc...

5) Overall plan is that *Emilia 4* will be realized and homologated car in the form of prototype for the most important solar car races on World Solar Challenge 2017 that will be held in Australia. For the first time Onda Solare project and University of Bologna members were working on the solar car for 4 occupants and it will be categorized as a *Cruiser solar car* by the rules of World Solar Challenge association.

Scholarship Holder's signature:

**Marko Lukovic**, University of Arts in Belgrade

Date:

30. 05. 2016.

**HOST University:**

Name of the Academic Contact Person/ Supervisor:

**Cristiano Fragassa**, Department of Industrial Engineering at University of Bologna

Signature:

Date:

Bologna  
19. 05. 2016

SUNBEAM Contact Person's name: *Romina Kniaz*

**Romina Kniaz**, University of Bologna

Signature:

Date: 30. 05. 16

Prilog 4/2

## Biografski podaci

Mr Marko Luković rođen je u Beogradu 1977. godine. Završio je srednju Školu za dizajn i Fakultet primenjenih umetnosti u Beogradu, Odsek industrijski dizajn. Zaposlen je na Fakultetu primenjenih umetnosti od 2002. godine. Reizabran je u zvanje vanrednog profesora 2021. godine. Član je ULUPUDS-a od 2001. godine.

Univerzitetsku karijeru započeo je neposredno nakon završetka osnovnih petogodišnjih akademskih studija na FPU (1996–2001), na Odseku industrijski dizajn. Na istom fakultetu magistrirao je 2008. godine. U okviru doktorskih studija na FPU dobio je međunarodnu stipendiju S.U.N.B.E.A.M. za razmenu studenata doktorskih studija, u okviru obrazovnog programa Evropske unije *Erasmus Mundus* +. Na osnovu te stipendije realizovao je šestomesečni studijski boravak, tokom školske 2015/2016. godine, na Departmanu industrijskog inženjerstva Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Bolonji, Italija.

Predaje predmete na III i IV godini osnovnih studija i na doktorskim studijama. Bio je do sada 7 puta mentor studentima na master studijama na Fakultetu primenjenih umetnosti.

Redovni je član ULUPUDS-a od 2001. godine. Angažovan je kao profesionalni komentator dizajna automobila za automobilske magazine: domaći „Top Speed“ i nemački „Auto Bild“, kao i za slovenački autoweb-portal (*SAGA-institut*, Ljubljana).

Sarađuje sa timovima inženjersko-projektantskih firmi, među kojima se izdvajaju *CAD Professional Systems (CPS)* i *ProMaschinen*.

Tokom profesionalne karijere dobio je 23 međunarodne i domaće nagrade i priznanja za umetnički i stručni rad, samostalno ili kao član koautorskog tima. Najznačajnije su:

- prva nagrada na dizajn-konkursu „Peugeot 2020 Design Contest – Imagine your automotive future“, organizator kompanija *Peugeot*, Pariz (2001);
- velika nagrada 42. Oktobarskog salona (2001), u organizaciji ULUPUDS-a, za dizajn koncept-automobila *Peugeot Moonster* i doprinos promociji domaćeg dizajna u svetu;
- plaketa ULUPUDS-a na Majskoj izložbi (2003) za koncept malog gradskog automobila;
- plaketa ULUPUDS-a na Majskoj izložbi (2015) za realizovanu uličnu svetiljku *Leaf*;
- plaketa ULUPUDS-a na Majskoj izložbi (2019) za realizovani solarni automobil *Emilia 4*, Italija;
- četiri zlatne i dve srebrne medalje sa likom Nikole Tesle za dizajn različitih industrijskih proizvoda, kao i jedno specijalno priznanje koje dodeljuje Savez pronalazača i tehničkih unapređenja Beograda na godišnjim sajmovima pronalazaštva;
- tri nagrade za konceptualni dizajn futurističkih automobila na prestižnim godišnjim međunarodnim dizajnerskim konkursima „Michelin Challenge Design“, u organizaciji kompanije *Michelin North America*, na Međunarodnom salonu automobila u Detroitu (2011, 2014. i 2015).

Tokom profesionalne aktivnosti do sada je uradio preko 50 komercijalnih i idejnih projekta u oblasti industrijskog dizajna i dizajna vozila, od kojih su mnogi u serijskoj proizvodnji za klijente u zemlji i inostranstvu.

Najznačajni realizovani dizajnerski projekti u inostranstvu su:

- koncept-automobil *Peugeot-Moonster* za kompaniju *Peugeot*, Pariz, Francuska;
- trkački solarni automobil *Emilia 4*, u kategoriji *Cruiser*, za multidisciplinarni projektantski tim *Onda Solare*, pod okriljem Univerziteta u Bolonji, koji je ujedno i italijanski nacionalni tim na kontinentalnim takmičenjima solarnih automobila;
- solarne ulične lampe *Leaf*, *Leaf-refit* i medicinski uređaj *Plasmion* za firmu *Plasma-Tech Energy*, Kipar.

Najnačajniji dizajnerski projekti za domaće klijente su:

- *SkyCleaner*, prečišćivač vazduha na javnim površinama, naručilac Skupština grada Beograda;
- serija ekskluzivnih ručica i kvaka za najvećeg domaćeg proizvođača *Stublina, d.o.o*, Srbija;
- enterijer putničkog automobila *Zastava-Florida* za *Zastava automobili*, Kragujevac;
- eksterijer kabine kamiona *Eurozeta* za *Zastava-Iveco kamioni*, Kragujevac;
- 3D skener za *motion capture* digitalizaciju lica i pokreta ljudi za filmsku i *gaming* industriju, naručilac: *CAD Proffesional Systems (CPS)* za *3Lateral d.o.o*, Beograd;
- medicinski rendgen aparat *Vision-C* za firmu *Visaris*, Beograd;
- elektronsko trofazno brojilo i industrijska mašina za sečenje i obradu plazma tehnologijom za firmu *Mačkatica*, Surdulica;
- boce od 0,5 i 1,5 litra za izvorsku vodu *Bistra* za firmu *Gamico*, Beograd.

Bio je 15 puta gostujući predavač po pozivu na umetničkim univerzitetima u inostranstvu, sa učešćem na stručnim praktičnim radionicama i konferencijama (Italija, Holandija, Španija, Rumunija, Bugarska, Hrvatska, Slovačka, Poljska).

Učestvovao je na ukupno 110 izložbi (žiriranih ili po pozivu) i izlaganja na stručnim manifestacijama i sajmovima, i to na 28 samostalnih (9 u zemlji i 19 u inostranstvu) i 82 kolektivne (73 u zemlji i 9 u inostranstvu): Pariz, Los Anđeles, Detroit, Ženeva, Frankfurt, Varšava, Berlin, Tokio, Monca, Maranelo, Imola, Bolonja, Rim, Rimini, San Marino, Sofija, Ljubljana, Banjaluka, Prijedor, Trebinje, Beograd, Novi Sad, Vršac, Niš, Pirot, Prokuplje i dr.

O njegovom stručno-umetničkom radu objavljeni su prikazi u: 13 stručnih publikacija (enciklopedije u Nemačkoj i Velikoj Britanji, udžbenici u Poljskoj i Srbiji), preko 250 tekstova u časopisima i stručnim izdanjima; preko 20 sati priloga na domaćim i inostranim televizijama i internet portalima.

Bio je član ili predsednik u 20 žirija (5 međunarodnih i 15 domaćih) na različitim stručnim izložbama, manifestacijama i sajmovima. Organizator i inicijator ukupno 16 izložbi studenata i profesora FPU. Više od 30 puta bio je član različitih fakultetskih stručnih tela.

Član je Saveta Univerziteta umetnosti u Beogradu od juna 2021. godine.



## Изјава о ауторству

Потписани **мр Марко Луковић**  
број индекса **04/2013**

**Изјављујем,**

да је докторска дисертација / докторски уметнички пројекат под насловом

**СТИЛСКО ОБЛИКОВАЊЕ У УСЛОВИМА СТРОГИХ  
ФУНКЦИОНАЛНО -ТЕХНИЧКИХ ЗАХТЕВА НА ПРИМЕРУ ДИЗАЈНА  
ТАКМИЧАРСКОГ СОЛАРНОГ АУТОМОБИЛА У КАТЕГОРИЈИ „КРУЗЕР“**

- резултат сопственог истраживачког / уметничког истраживачког рада,
- да предложена докторска теза / докторски уметнички пројекат у целини ни у деловима није била / био предложена / предложен за добијање било које дипломе према студијским програмима других факултета,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда



У Београду, 21.09.2021.

---

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације / докторског уметничког пројекта**

Име и презиме аутора **мр Марко Луковић**

Број индекса **04/2013**

Докторски студијски програм **Примењена уметност и дизајн**

Наслов докторске дисертације / докторског уметничког пројекта:

**СТИЛСКО ОБЛИКОВАЊЕ У УСЛОВИМА СТРОГИХ  
ФУНКЦИОНАЛНО -ТЕХНИЧКИХ ЗАХТЕВА НА ПРИМЕРУ ДИЗАЈНА  
ТАКМИЧАРСКОГ СОЛАРНОГ АУТОМОБИЛА У КАТЕГОРИЈИ „КРУЗЕР“**

Ментор **мр Душан Нешић, редовни професор ФПУ**

Потписани (име и презиме аутора) **мр Марко Луковић**

изјављујем да је штампана верзија моје докторске дисертације / докторског уметничког пројекта истоветна електронској верзији коју сам предао за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета уметности у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука / доктора уметности, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета уметности Београду.

Потпис докторанда



У Београду, 21.09.2021.

---

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитет уметности у Београду да у Дигитални репозиторијум Универзитета уметности унесе моју докторску дисертацију / докторски уметнички пројекат под називом:

**СТИЛСКО ОБЛИКОВАЊЕ У УСЛОВИМА СТРОГИХ  
ФУНКЦИОНАЛНО -ТЕХНИЧКИХ ЗАХТЕВА НА ПРИМЕРУ ДИЗАЈНА  
ТАКМИЧАРСКОГ СОЛАРНОГ АУТОМОБИЛА У КАТЕГОРИЈИ „КРУЗЕР“**

који је моје ауторско дело.

Докторску дисертацију / докторски уметнички пројекат предао сам у електронском формату погодном за трајно депоновање.

У Београду, 21.09.2021.

Потпис докторанда



---

мр Марко Луковић