

# Analiza optjecanje fluida oko aerodinamičnog profila

---

**Buhin, Benjamin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:723536>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-04**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**ANALIZA OPTJECANJE FLUIDA OKO AERODINAMIČNOG  
PROFILA**

Rijeka, srpanj 2024.

Benjamin Buhin

0069091948

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**ANALIZA OPTJECANJE FLUIDA OKO AERODINAMIČNOG  
PROFILA**

Mentor: prof. dr. sc. Lado Kranjčević

Komentor: dr. sc. Marta Alvir

Rijeka, srpanj 2024.

Benjamin Buhin

0069091948

Rijeka, 20. ožujka 2024.

Zavod: **Zavod za mehaniku fluida i računalno inženjerstvo**  
Predmet: **Mehanika fluida**  
Grana: **2.15.04 mehanika fluida**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Benjamin Buhin (0069091948)**  
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Zadatak: **Analiza optjecanje fluida oko aerodinamičnog profila**

### Opis zadatka:

Provesti detaljnu analizu turbulentnog strujanja zraka oko izabranog profila. Opisati opstrujavanje fluida oko zadanog profila s fizikalnog motrišta mehanike fluida, kako bi se izračunao dinamički otpor i uzgon. Izabrati profil, izraditi geometriju i numerički simulirati optjecanje koristeći komercijalni softver ili softver otvorenog koda.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2024.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

prof. dr. sc. Lado Kranjčević

izv. prof. dr. sc. Samir Žic

dr. sc. Marta Alvir (komentor)

## IZJAVA

Ja, Benjamin Buhin, izjavljujem da sam završni rad pod naslovom „Analiza optjecanje fluida oko aerodinamičnog profila“, samostalno izradio kao student prijediplomskog sveučilišnog studija strojarstva na Tehničkom fakultetu u Rijeci, pod vodstvom prof. dr. sc. Lado Kranjčevića. Te izjavljujem da nisam koristio tuđe radove kod izrade završnog rada.

Rijeka, srpanj 2024.

Benjamin Buhin

---

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Lado Kranjčeviću na vođenju tijekom izrade završnog rada. Također se zahvaljujem asist. dr. sc. Marti Alvir na pomoći, brzim odgovorima, savjetima i prijedlozima koji su dodatno olakšali izradu završnog rada. Nadalje se zahvaljujem svim ostalim profesorima na pruženom znanju i informacijama koji su mi ostvarili lakše razumijevanje i izvršenje završnog rada.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. RAČUNALNA DINAMIKA FLUIDA .....	2
3. KOEFICIJENT OTPORA $C_D$ I DINAMIČNOG UZGONA $C_L$ .....	4
4. IZRADA SIMULACIJE.....	6
4.1. Geometrija.....	6
4.2. Numerička mreža.....	8
4.3. Simulacija.....	10
5. RJEŠENJE .....	13
6. USPOREDBA DOBIVENIH REZULTATA OVISNO O PROMJENI BRZINE.....	19
6.1. Utjecaj promjene brzine na konturu brzine .....	19
6.2. Utjecaj promjene brzine na vektor brzine .....	22
6.3. Utjecaj promjene brzine na statički tlak .....	25
6.4. Utjecaj promjene brzine na dinamički tlak .....	27
6.5. Utjecaj promjene brzine na totalni tlak .....	29
7. ZAKLJUČAK.....	31
8. POPIS LITERATURE .....	32
9. TABLICA SLIKA.....	33
10. SAŽETAK .....	35
11. SUMMARY .....	36

## 1. UVOD

Cilj projektnog zadatka je izraditi numeričku simulaciju zadane geometrije, to jest opstrujavanje oko geometrije. Razlog izvođenju simulacija je to što se želi postići što bolja aerodinamika automobila, odnosno što manji otpor sile zraka koji značajno utječe na automobil. Aerodinamika je grana mehanike fluida koja proučava strujanje nekog fluida te njegovo ponašanje kad postoji međusobno gibanje između fluida i tijela. Ponajviše se ispituje u zrakoplovstvu, a potom u automobilskoj industriji. Na samome početku izrade automobila se nije znalo puno o aerodinamici pa su automobili bili kockastih oblika što se pokazalo kao loše rješenje što će se vidjeti i u ovome projektnom zadatku.

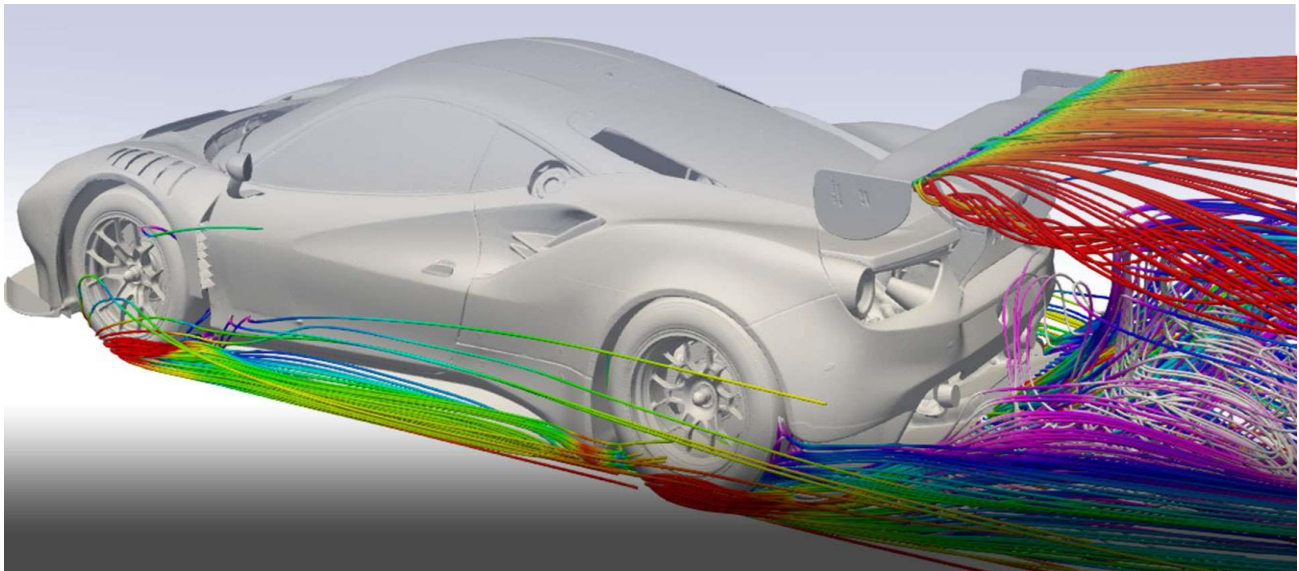
U prvom poglavlju obuhvaćen je ukratko pojam računalna dinamika fluida (engl. *Computational Fluid Dynamics*, CFD), njegove karakteristike, mane i prednosti te sam razvoj. Na temelju simulacije izrađene u softveru možemo vidjeti kako bi se otprilike ponašalo strujanje na automobilima u pokretu.

U drugom poglavlju objašnjene su ukratko pojmovi *koeficijent otpora*  $C_D$  i *koeficijent dinamičnog uzgona*  $C_L$  te njegove važnosti u današnje vrijeme. U trećem poglavlju je opisana izrada simulacije koju ćemo vršiti na zadanome tijelu. Za simulaciju koristit ćemo se paketima programa ANSYS. Paketi koje ćemo koristiti za izradu simulacije su: *geometry*, *mesh*, *fluent* i *results*. Nakon toga su u sljedećem poglavlju prikazana rješenja simulacije i ukratko opisana kako to utječe na profil automobila. Nakon toga se u sljedećem poglavlju uspoređuje kako promjena brzina utječe na rješenja simulacije i njezine vrijednosti.



## 2. RAČUNALNA DINAMIKA FLUIDA

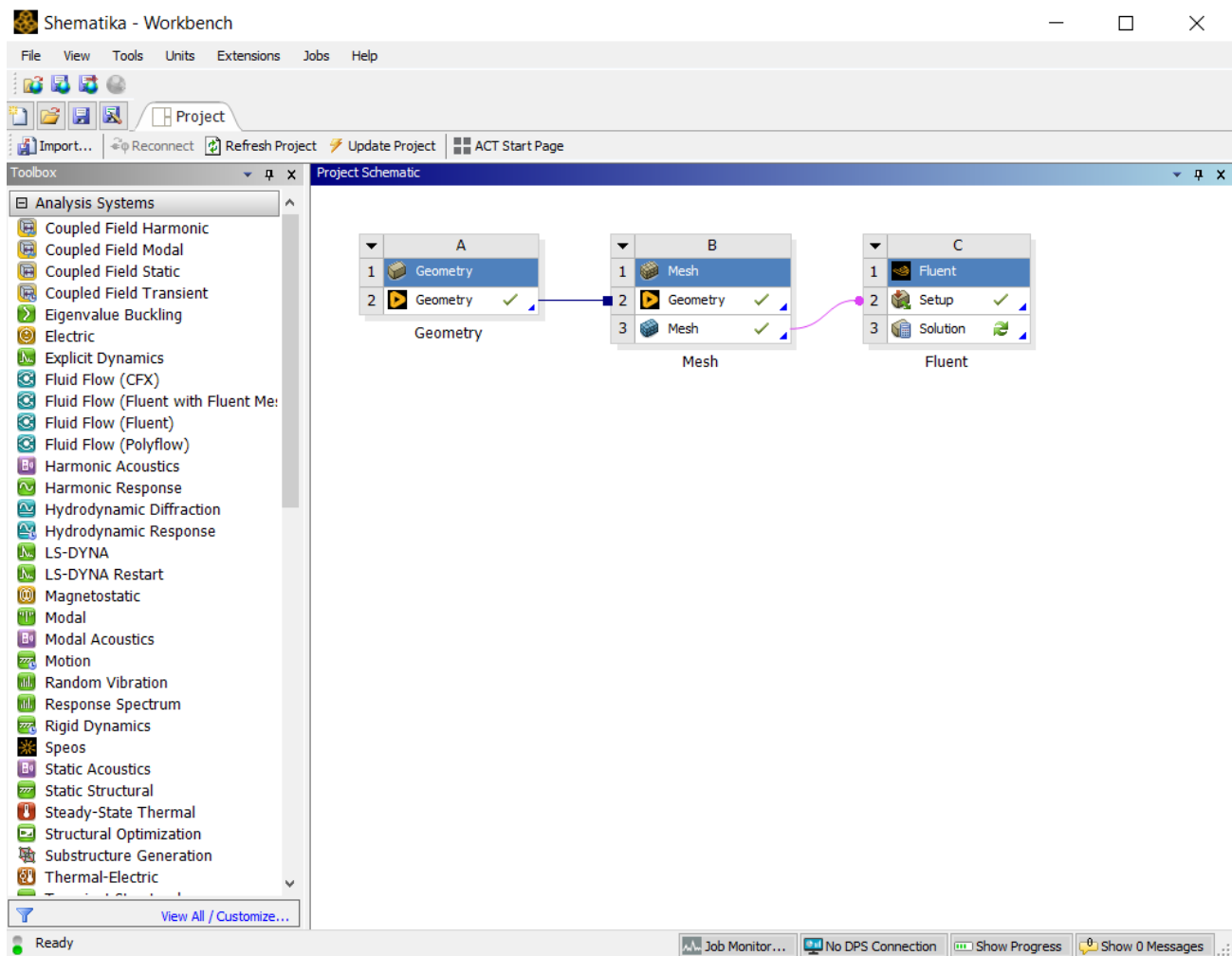
CFD je znanost koja uz pomoć računala stvara i predviđa tok fluida koristeći numeričke metode rješavanja. U prošlosti CFD-a se je fokusiralo na poboljšanje numeričke metode kako bi se smanjila cijena samog programa jer glavni nedostatak je vrlo visoka cijena. Razvoj računala i njegovih performansi je pomogla kod upotrebe ovog programa jer sada se i vrlo zahtjevna simulacija može kreirati. Najviše se koristi u granama aerodinamike i hidrodinamike gdje se u simulaciji proučavaju veličine poput tlaka i brzine. Ključna uloga CFD-a je testiranje nove značajke koja se dodaje geometriji ili oduzme jer tako možemo vidjeti kako bi se to ponašalo u simulaciji i vidimo je li isplativo ili nije. Simulacija CFD-a je vrlo bitna za automobilsku aerodinamiku jer nam omogućuje da od zadanog dizajna dobijemo što bolji performans automobila. Osim toga nam manji otpori zraka i omogućuju učinkovitiju vožnju jer što je manji otpor to je i manja potrošnja goriva. Kao i kod svakog softvera postoji i neka određena netočnost koja će se desiti unutar samog proračuna simulacija i može doći ponekad do greške. [1]



*Slika 2.1 Primjer opstrujavanje fluida kod automobila [2]*

ANSYS je komercijalni softver koji je vrlo skup, a može služiti za projektiranje, simulaciju te testiranje samog rada proizvoda. Kao i komercijalni postoje i otvoreni softveri koji su puno jeftiniji, no kod otvorenih softvera postoje neka ograničenja i nisu uvijek sve mogućnosti moguće.

ANSYS je danas jedan od najkorištenijih softvera koji se sve više upotrebljava jer ima puno raznih mogućnosti koje taj program rješava. [3]



Slika 2.2 Sučelje programa ANSYS

### 3. KOEFICIJENT OTPORA $C_D$ I DINAMIČNOG UZGONA $C_L$

Promatrajući zrakoplove kako uzlijeće s piste, automobil koji se brzo kreće po autocestom ili neki brod koji elegantno kreće po površini vode, možemo vidjeti da svi ti prizori imaju nešto zajedničko, a to je sposobnost objekata da se kreću kroz zrak ili vodu, boreći se s otporom i koristeći uzgon. Za većinu opstrujanih tijela nemoguće je točno izračunati sile otpora  $F_D$  i sile uzgona  $F_L$ . Alternativa je uvođenje dvaju bezdimenzijskih parametara  $C_D$  i  $C_L$ . *Koeficijent otpora*  $C_D$  je bezdimenzionalni broj koji izražava relativnu otpornost objekta prema fluidu. Niži *koeficijent otpora*  $C_D$  znači manja otpornost i bolja učinkovitost kretanja kroz fluid. Ova mjera nam pomaže kvantificirati koliko je objekt aerodinamičan ili hidrodinamičan, a računa se prema izrazu (3.1):

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (3.1)$$

Gdje je:

$F_D$  sila otpora,

$\rho$  gustoća fluida,

$v$  brzina nastrujavanja,

$A$  karakteristična površina tijela.

Općenito, uzgonska sila omogućava objektima da prevladavaju gravitaciju i lebde ili se kreću uzvodno kroz fluid. To je ključna sila koja omogućava zrakoplovima da lete i brodovima da plove. *Koeficijent dinamičnog uzgona*  $C_L$  je bezdimenzionalni broj koji opisuje sposobnost objekta da stvara uzgon. Viši koeficijent uzgona označava veću sposobnost generiranja uzgona promatrajućeg tijela ili oblika, a računa se prema izrazu (3.2):

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (3.2)$$






Gdje je:

$F_D$  sila dinamičnog uzgona,

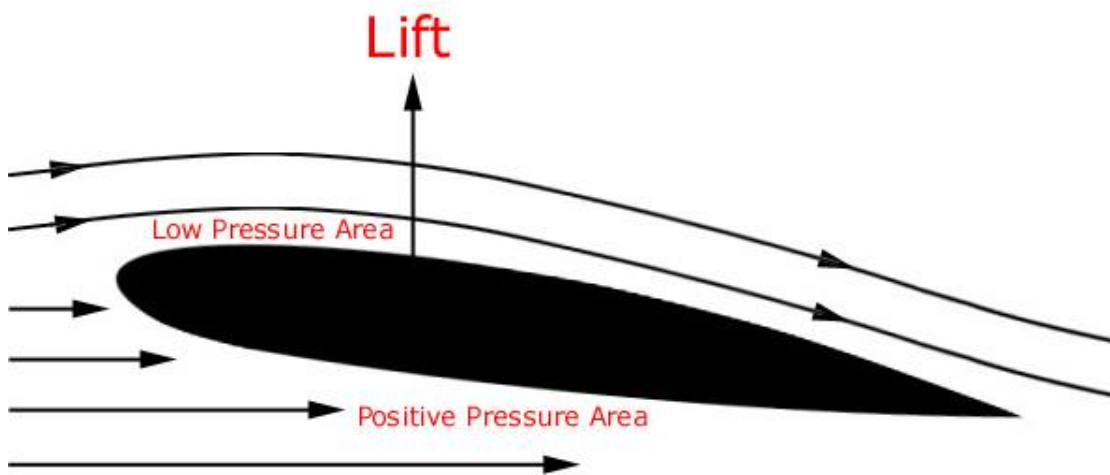
$\rho$  gustoća fluida,

$v$  brzina nastrujavanja,

$A$  karakteristična površina tijela.

Shape	Drag Coefficient
Sphere → 	0.47
Half-sphere → 	0.42
Cube → 	1.05
Streamlined Body → 	0.04
Streamlined Half-body → 	0.09

Slika 3.1 Koeficijent otpora strujanja  $C_D$  za više dvodimenzijskih likova [4]



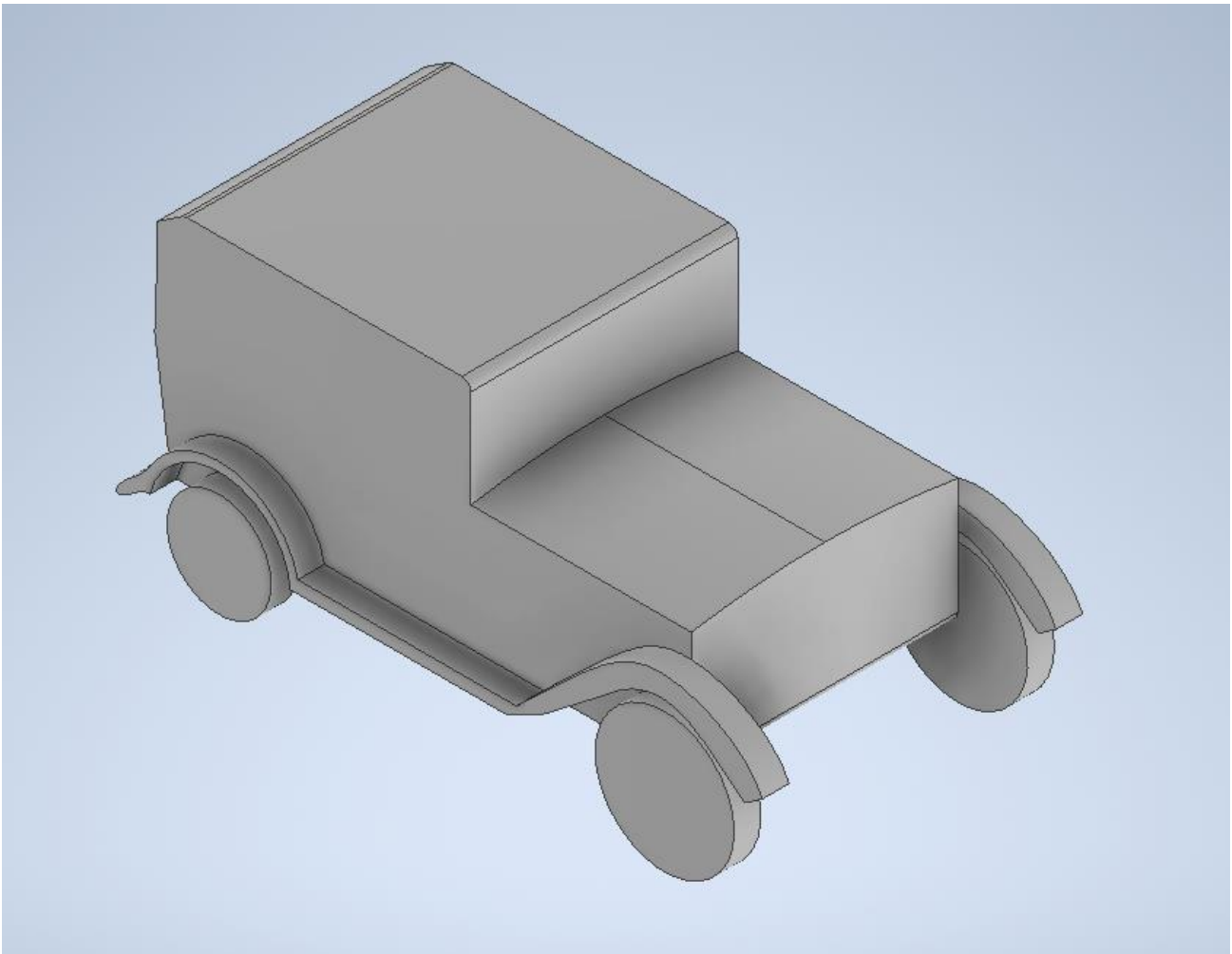
Slika 3.2 Smjer djelovanja sile uzgona i područja niskog i visokog tlaka [5]

Kod modernih automobila teži se što manjem koeficijentu otpora  $C_D$ , a u današnje vrijeme se kreće između 0,3 i 0,4. Ovi bezdimenzijski parametri su osnova za modeliranje kompleksnijih geometrija kakva se promatrala u ovome radu. [6]

## 4. IZRADA SIMULACIJE

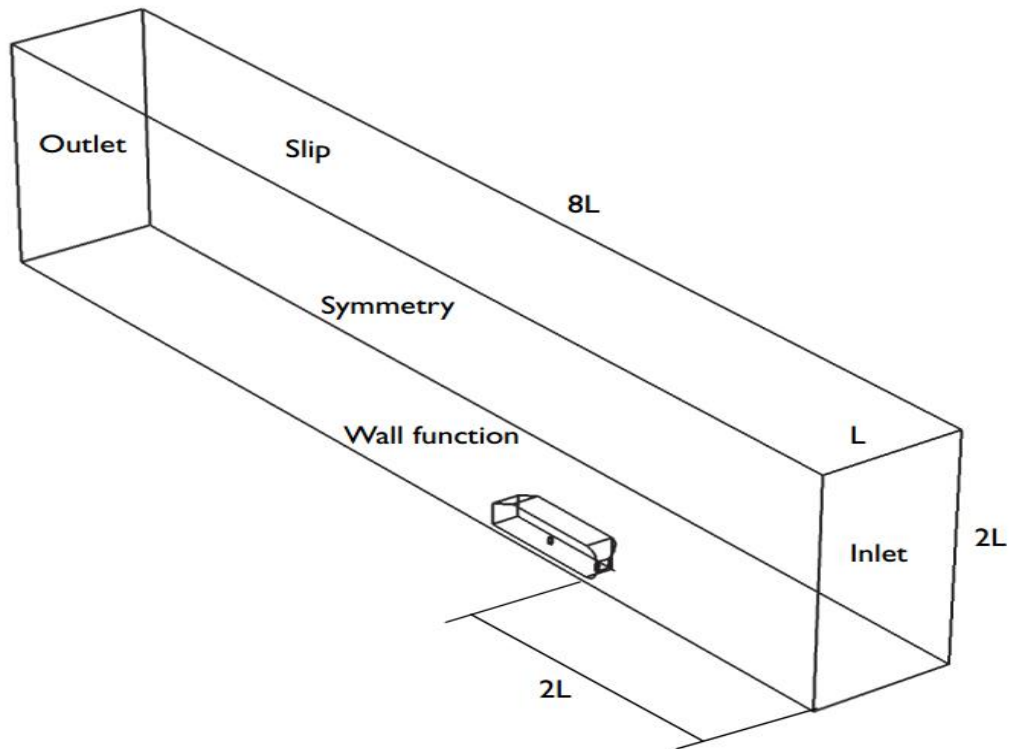
### 4.1. Geometrija

Za sam početak izrade simulacije bilo je potrebno preuzeti softver ANSYS (*Workbench 2023 R2*) studentska verzija u kojoj su nam svi potrebni alati za izradu simulacije. Imamo zadani oblik automobila koji je unaprijed već pojednostavljen zbog toga što sitni detalji i dijelovi mogu jako utjecati na vrijeme trajanje proračuna simulacije i performanse računala. Osim toga ova studentska verzija je ograničena na 500 000 elemenata.



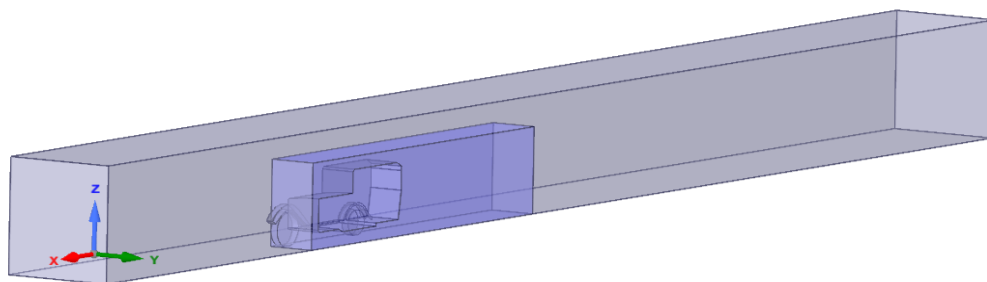
*Slika 4.1 Zadani oblik automobila na kojem se izrađuje simulacija*

Nakon što imamo pojednostavljeni oblik automobila, potrebno je odrediti domenu u kojoj će strujati zrak te njezine uvjete. Postoje već neke standardne vrijednosti koje se uzimaju za izradu domene. Domena je pravokutnog oblika te poprilično velika iza automobila jer tamo nas najviše zanima što se događa sa strujanjem zraka.



Slika 4.2 Oblik prema kojem se izrađuje domena i uvjeti [7]

Pošto je automobil simetričan se koristi samo jedna polovica radi pojednostavljenja simulacije. U toj domeni je oduzeti oblik automobila i unutar domene se nalazi pravokutnik (svijetlo plave boje) koji je smješten tamo gdje i automobil i iza automobila. U tom području ćemo smanjiti veličinu numeričke mreže koja će nam omogućiti detaljniju simulaciju. [7]

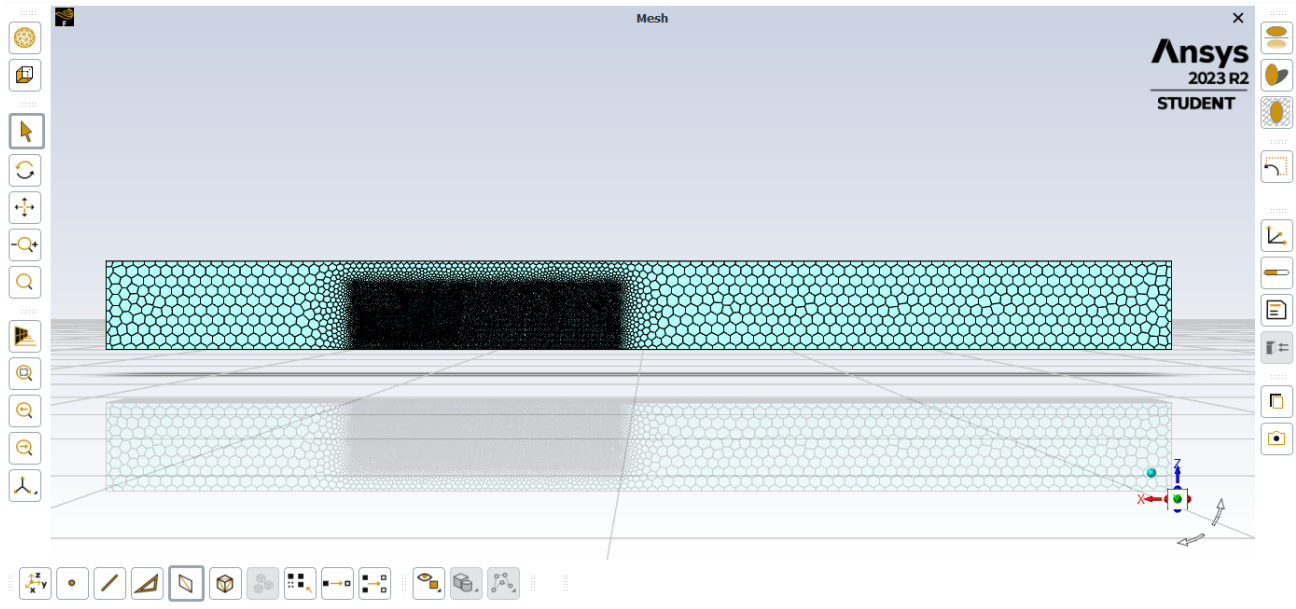


Slika 4.3 Domena prikazana u programu SpaceClaim

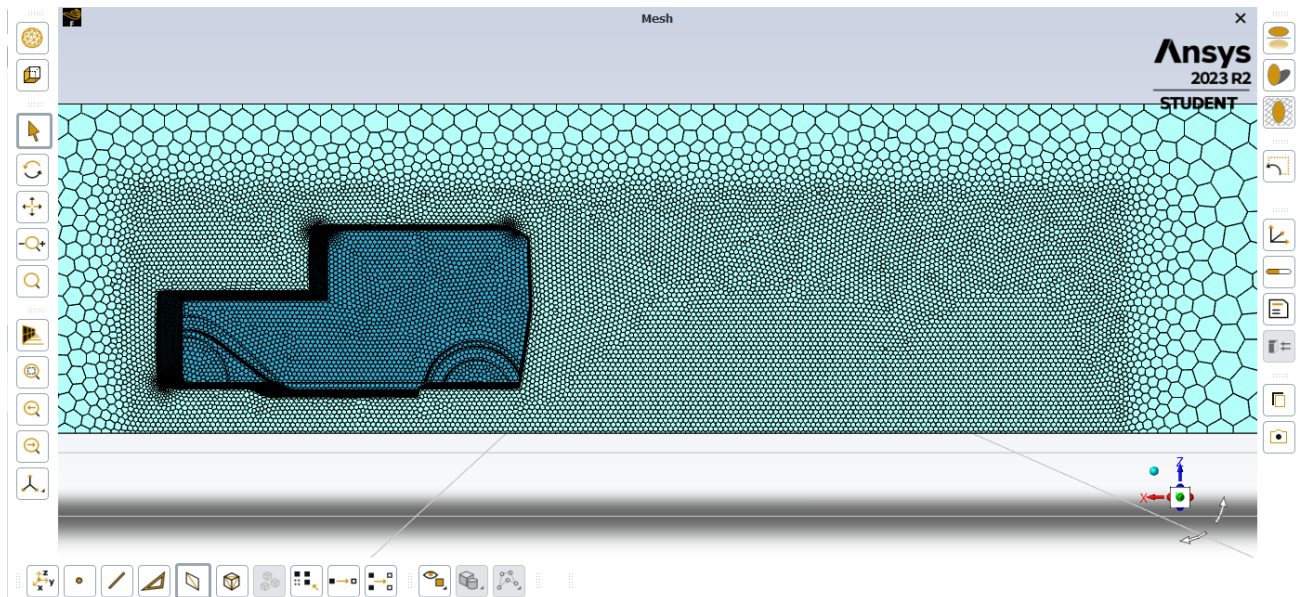


## 4.2. Numerička mreža

Izrada numeričke mreže (engl. *mesh*) vrši se u sklopu programa ANSYS koji pruža jednostavno automatsko umrežavanje do visoko izrađenog umrežavanja. Numerička mreža je zapravo dijeljenje geometrije na manje dijelove s ciljem boljeg definiranja prostora za izradu simulacije. Gušću mrežu stavljamo na mjesto gdje su nam bitniji rezultati ili gdje očekujemo neke velike promjene.

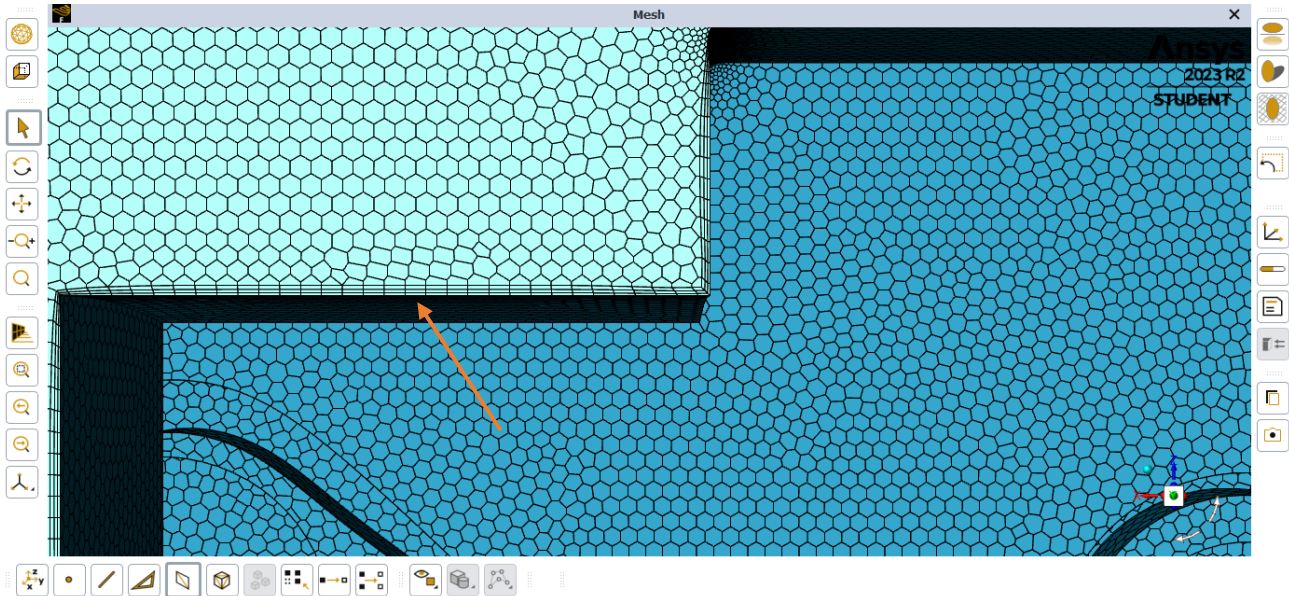


Slika 4.4 Grafički pregled numeričke mreže



Slika 4.5 Uvećani grafički pregled numeričke mreže

Bitno je da kod izrade numeričke mreže se izbjegava grubi prijelaz od sitnog elementa na veliki element jer u suprotnome će nam tamo biti rezultati ne toliko precizni. Potrebno je također navesti granične uvjete kao što su: *inlet*, *outlet*, *symmetry*, *walls*, *car*, *sky*, *ground*. Uz obrub oblika automobila se stavljaju granični slojevi (engl. *boundary layers*) kako bi se bolje opisale nagle promjene. Uz stijenku automobila su stavljene 3 slojeva uz mali razmak.



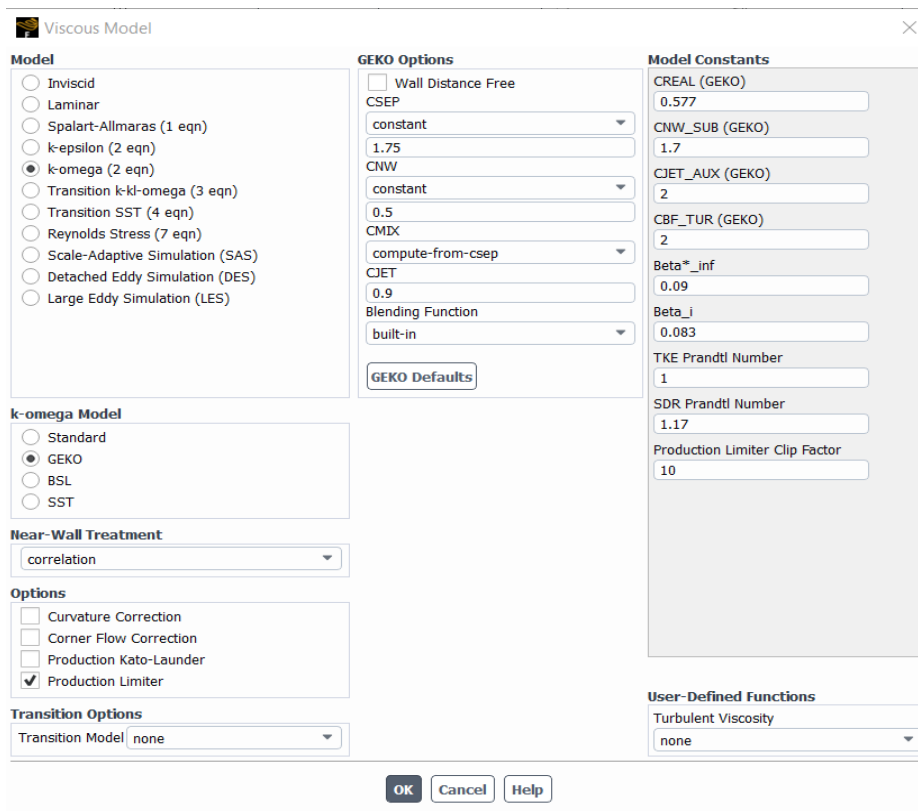
Slika 4.6 Pregled graničnih slojeva uz stijenku automobila

Ako dolazi do grešaka stvaranja numeričkih mreža program će javiti i upozoriti da ne može izraditi mrežu u zadanim uvjetima. U tom slučaju se smanjuju dimenzije elemenata ili po potrebi se može promijeniti i oblik elemenata što može također riješiti problem. U ovom slučaju mi koristimo kod izrade numeričke mreže *poly-hexcore*. [8]



### 4.3. Simulacija

Nakon što je izrađena geometrija i numerička mreža, prijelazi se na simulaciju u programu pod nazivom *fluent* koji je u sklopu paketa ANSYS. *Fluent* je jedan od najpoznatijih programa za izradu simulacije određenog oblika. Prvo od svega se bira metoda kojom će se rješavati simulacija. Mogući je odabir između puno metoda, kao što su: *inviscid*, *laminar*, *Spallart-Allmaras*, *k-epsilon*, *k-omega*, *Reynolds Stress* i tako dalje. Mi u ovom slučaju koristimo metodu *k-omega* umjesto *k-epsilon*. Metoda *k-omega* nam daje bolja rješenja u blizini zidova.



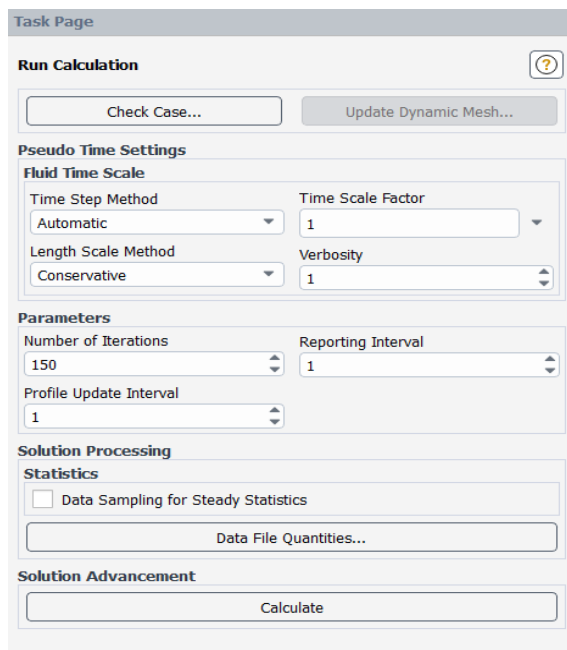
Slika 4.7 Prikaz odabira metode *k-omega*

Nakon što se odabrala metoda potrebno je provjeriti je li fluid koji se koristi zrak. Zatim se podešavaju granični uvjeti u ulazu (*inlet*) i izlazu (*outlet*) koji su nam vrlo bitni za izradu simulacije. Osim toga se ostali granični uvjeti moraju provjeriti i staviti u pravu domenu. Na ulazu (*inlet*) smo stavili magnitudu brzine od 15 m/s (54 km/h), a u izlazu (*outlet*) mora biti atmosferski tlak. Kod ostalih rubnih uvjeta potrebno je samo paziti na dijelovima gdje se pojavljuje trenje. Trenje se pojavljuje kod automobila i površine po kojoj se automobil giba (*ground*). [9]

*Slika 4.8 Prikaz podataka na ulazu (inlet)*

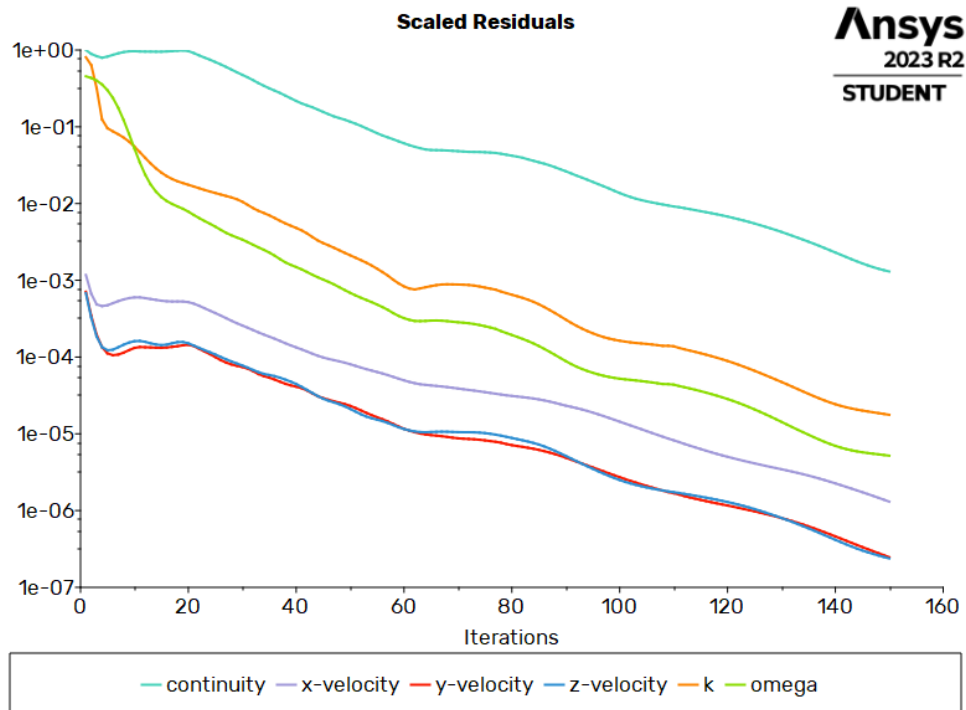
*Slika 4.9 Prikaz podataka na izlazu (outlet)*

Nakon što su definirani svi rubni uvjeti, metoda kojom se rješava simulacija te fluid koji ulazi u prostor, se pokreće računanje rješenja (*run calculation*). U ovom slučaju broj iteracije postavili smo na 150, što znači da će se proračun u domeni ponavljati 150 puta kako bi rješenje konvergiralo. Po završetku izrade svih iteracija se nastavlja sa detaljnom analizom dobivenih podataka koji se mogu grafički prikazati na samom obliku ili po potrebi preko grafova. Ako nismo zadovoljni ili želimo promijeniti neke ulazne parametre, možemo ponovno pokrenuti računanje i dobiti drugačije rezultate.



Slika 4.10 Prikaz parametara u pokretanju računanja

Kod trajanje procesa iteracije se izrađuje dijagram kod kojeg je važno da svakom iteracijom se približavamo x-osi, to jest da je graf padajući.

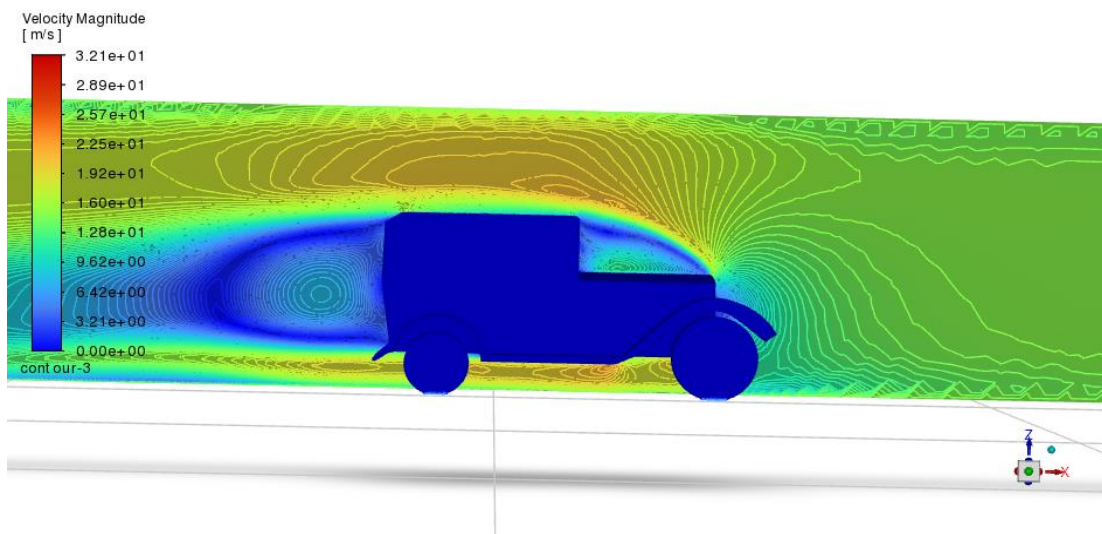


Slika 4.11 Graf iteracije

## 5. RJEŠENJE

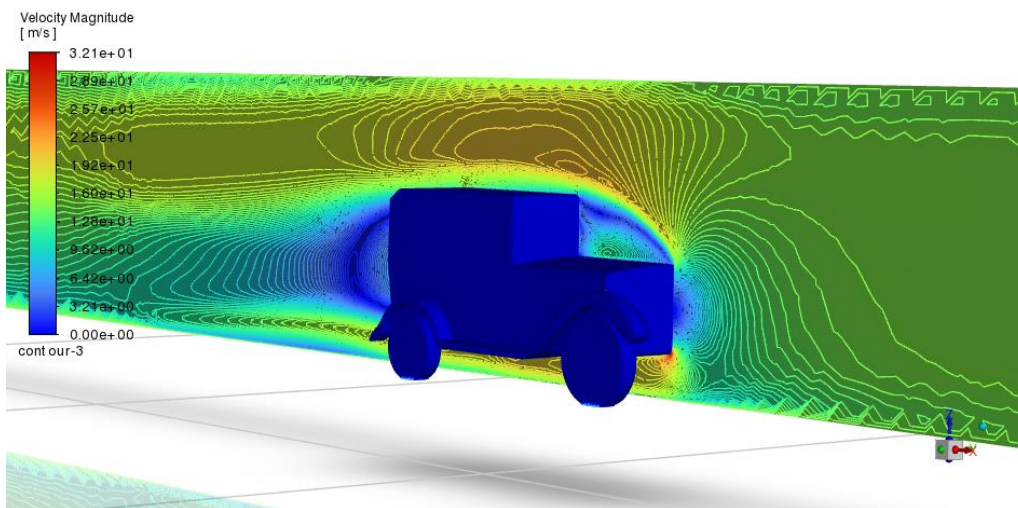
Odredili smo brzinu automobila na 15 m/s (54 km/h) te smo dobili rezultate koje smo grafički prikazali.

**Ansys**  
2023 R2  
STUDENT



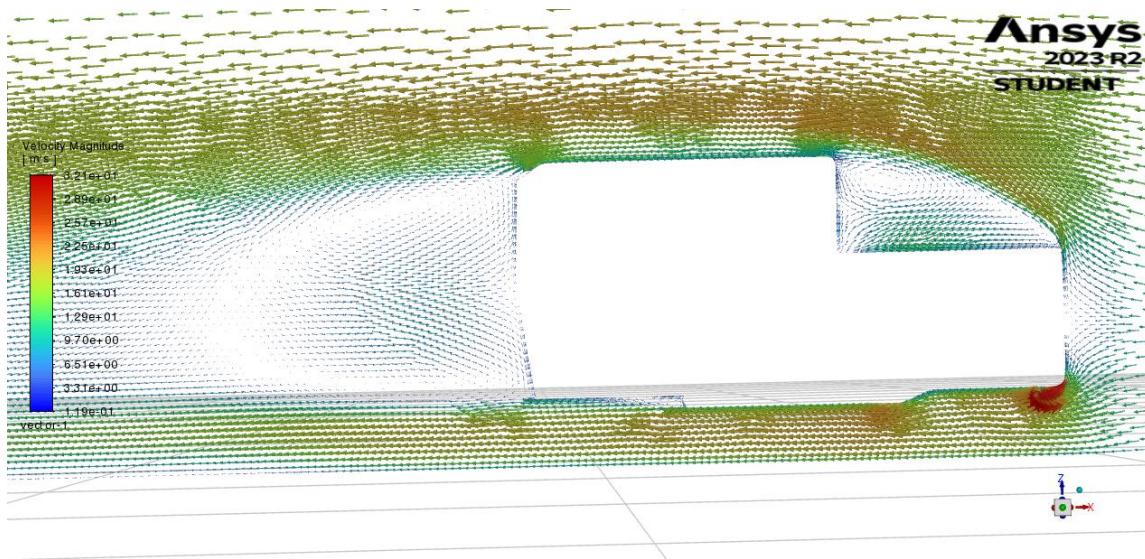
*Slika 5.1 Grafički pregled konture brzina*

**Ansys**  
2023 R2  
STUDENT

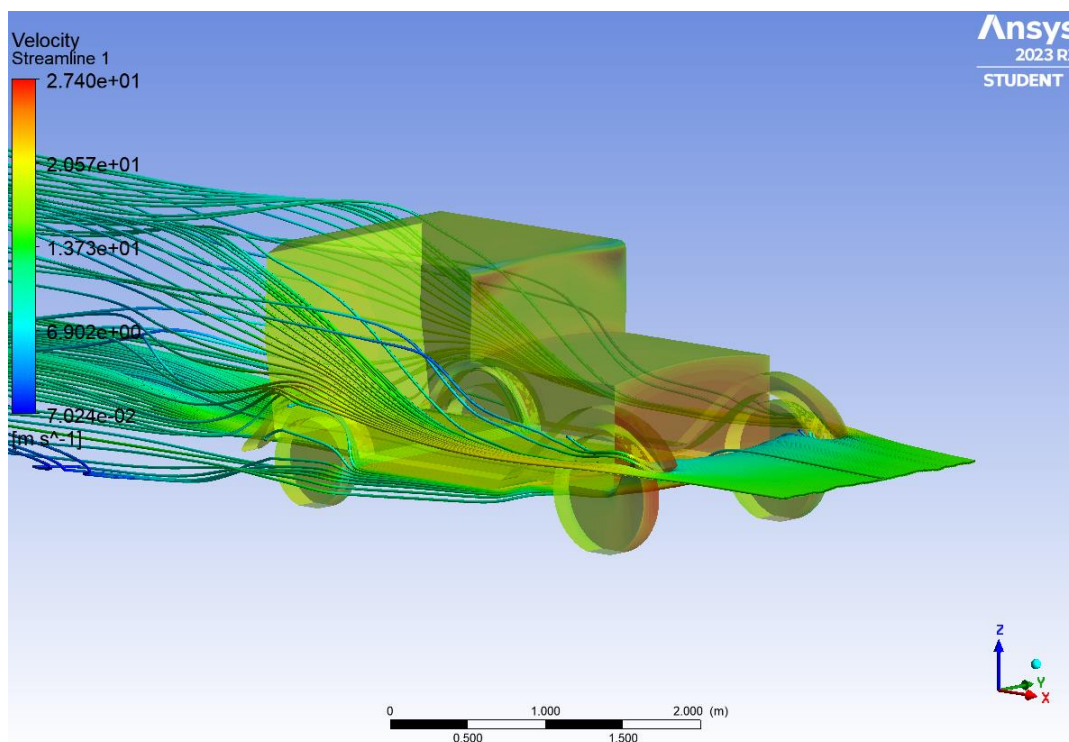


*Slika 5.2 Kosi pregled konture brzina*

Na slikama možemo vidjeti konture koje nam razdvajaju područja različitih brzina te nam različita boja govori kolika je brzina na određenom području. Možemo primijetiti da je najbrža brzina ispod automobila i iznad njega, dok je brzina iza njega vrlo mala i blizu nuli. Smjer kretanja brzine može se još bolje odrediti grafičkim prikazom gibanje vektora brzina. Osim toga možemo prikazat gibanje strujnice u određenim položajima koji su nam najbitniji za analizu rezultata.

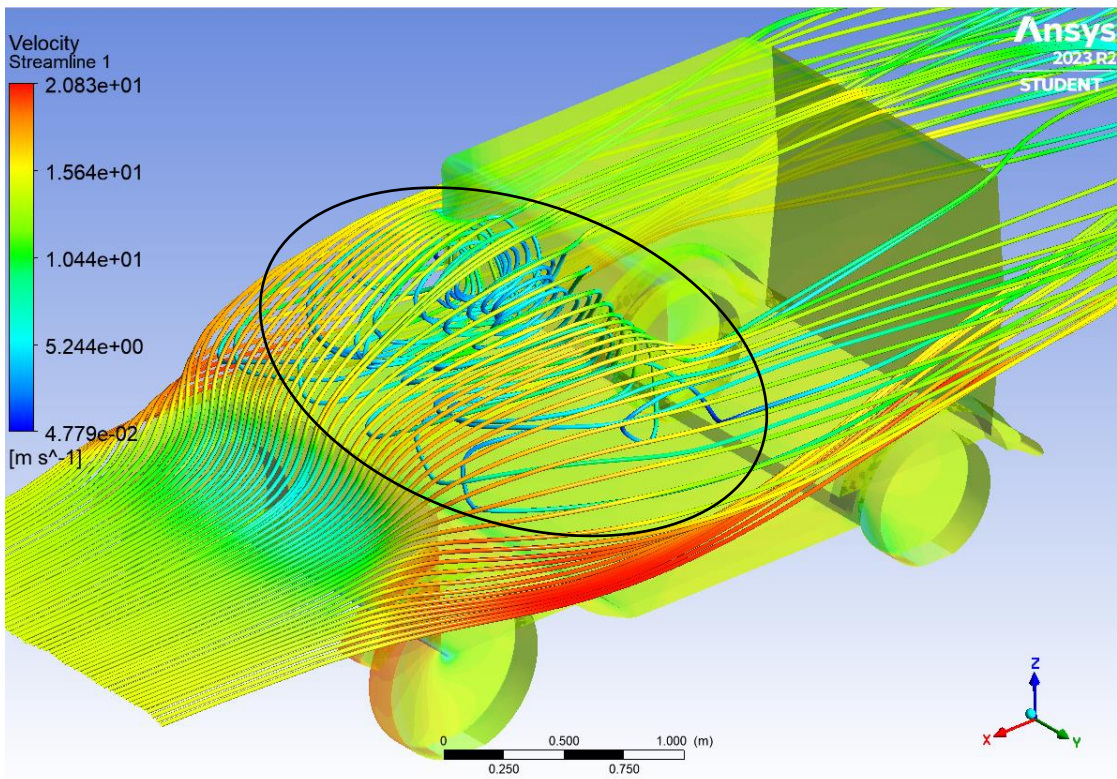


Slika 5.3 Vektori brzina

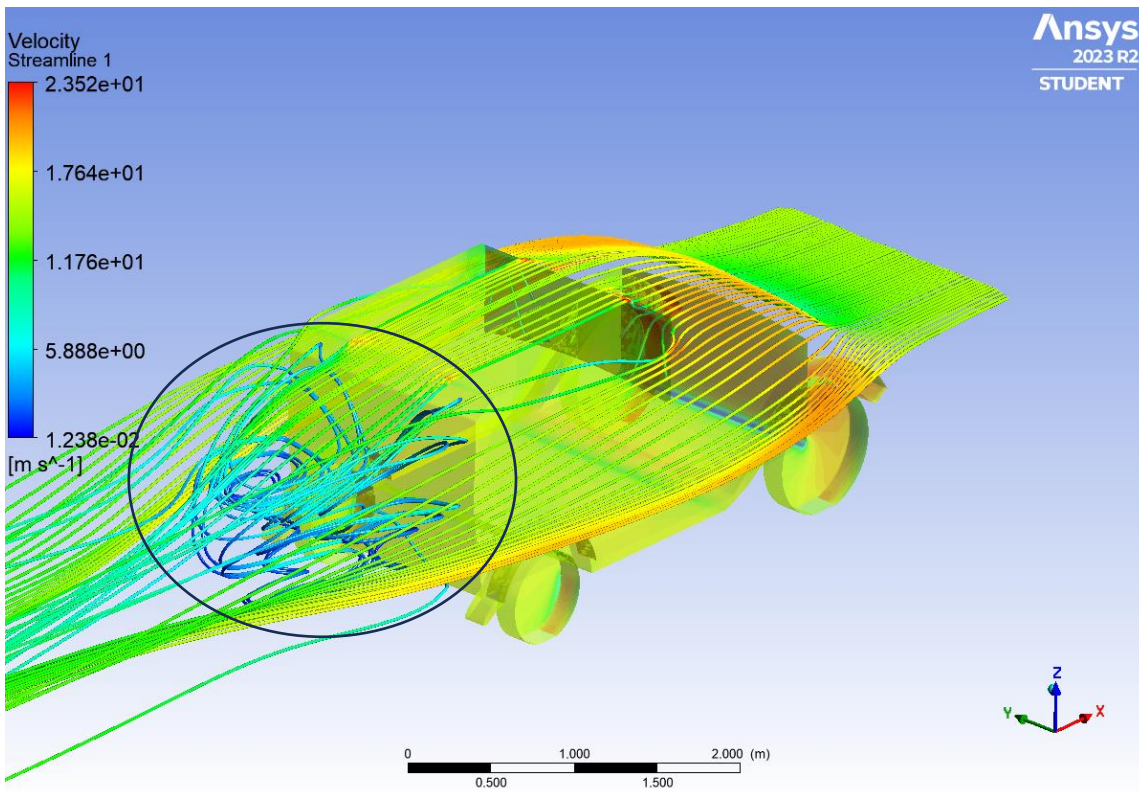


Slika 5.4 Smjer gibanja strujnice brzina





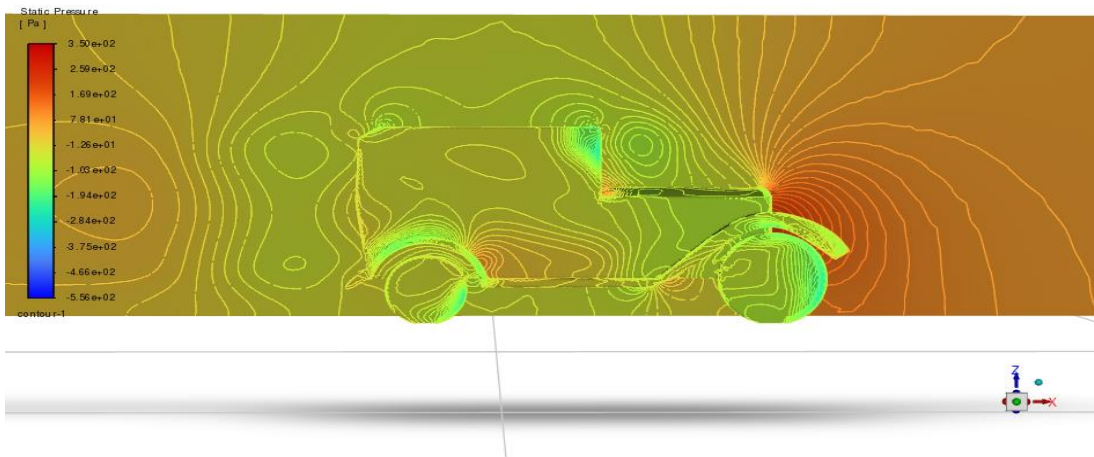
*Slika 5.5 Turbulentno strujanje strujnice brzina na motoru*



*Slika 5.6 Turbulentno strujanje strujnice brzina iza automobila*

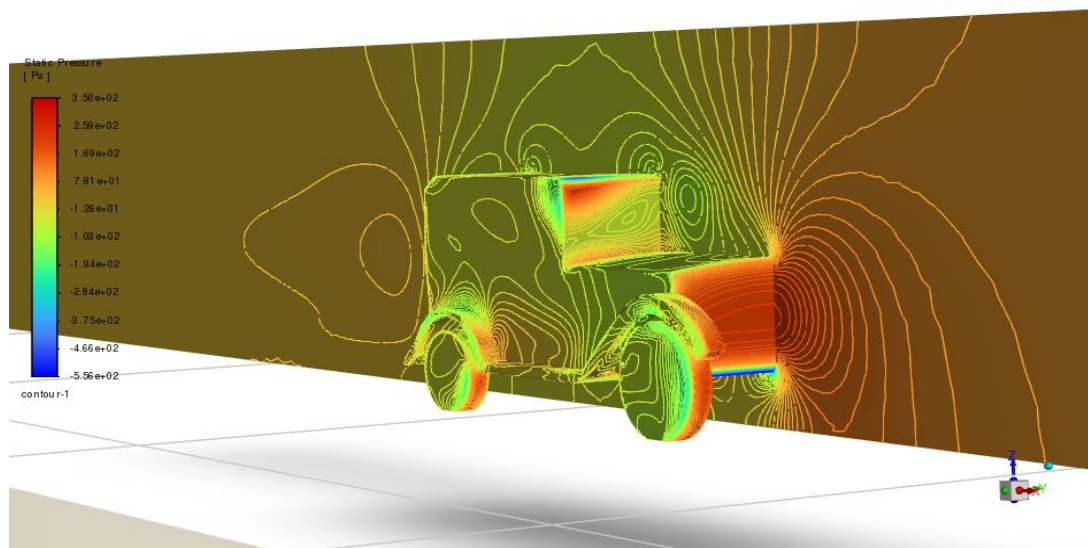
Kod takvog grafičkog prikaza možemo vidjeti gdje će doći do turbulentnog strujanja u pojedinom području i u pojedinom trenutku. U ovom slučaju se može vidjeti da će doći do turbulentnog strujanja iza automobila i ispred vjetrobranskog stakla (označeno crnim kružićem). Turbulentno strujanje nije poželjno kod automobila i pokušava se smanjiti. Ovaj program nam, osim prikaz brzine, omogućuje i prikaz statičkog i dinamičkog tlaka kod zadane brzine. Različite boje nam govore različite vrijednosti tlakova te su stavljene konture kako bi se lakše odredili tlakovi na pojedinim područjima.

**Ansys**  
2023 R2  
STUDENT



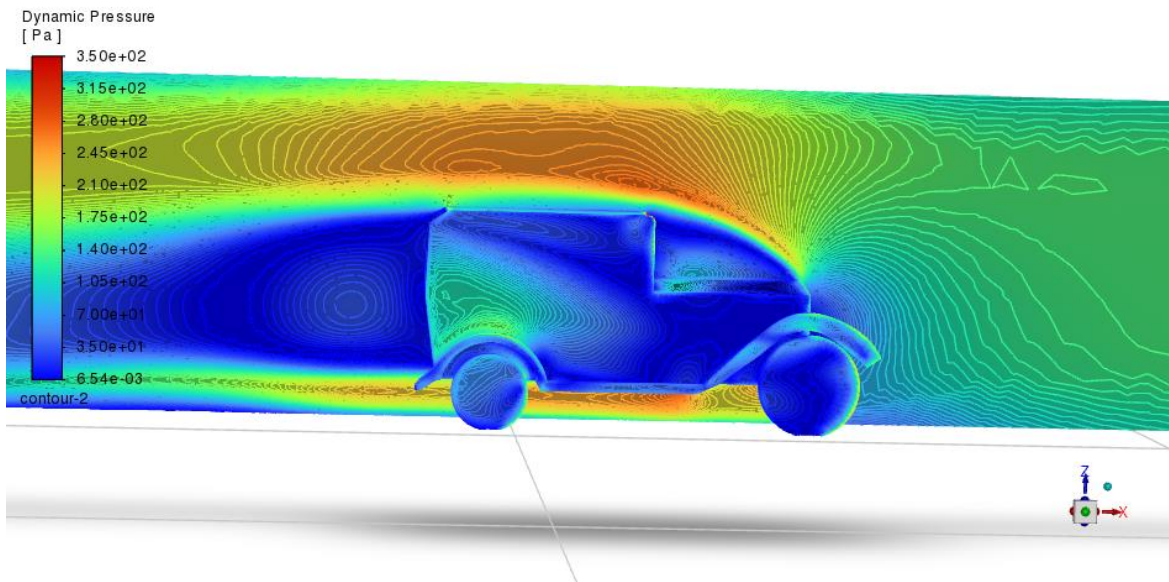
*Slika 5.7 Promjena statičkog tlaka*

**Ansys**  
2023 R2  
STUDENT

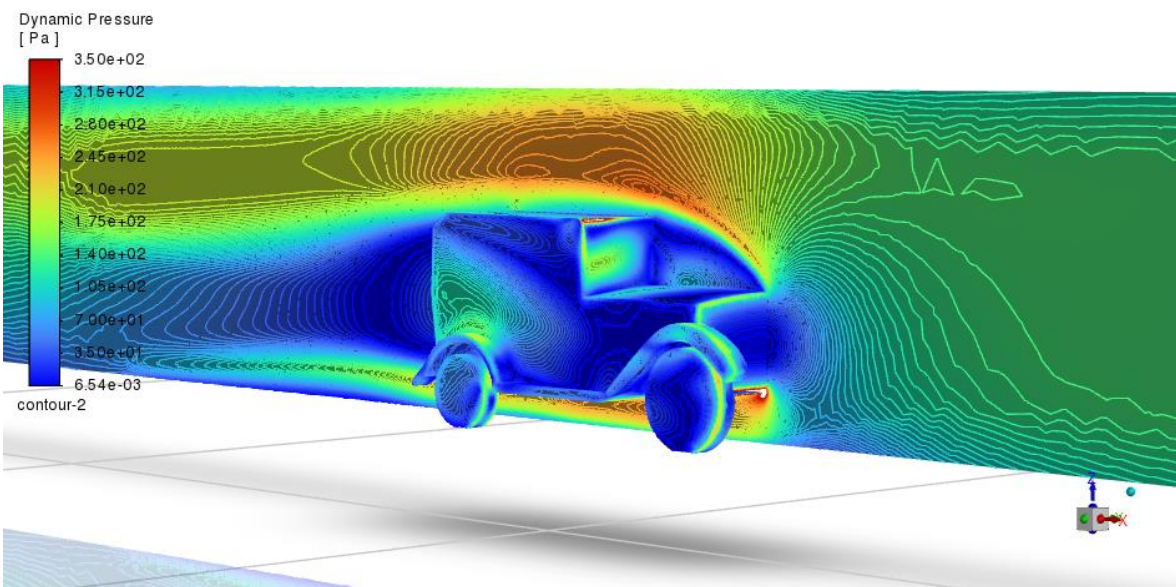


*Slika 5.8 Promjena statičkog tlaka u kosom pogledu*





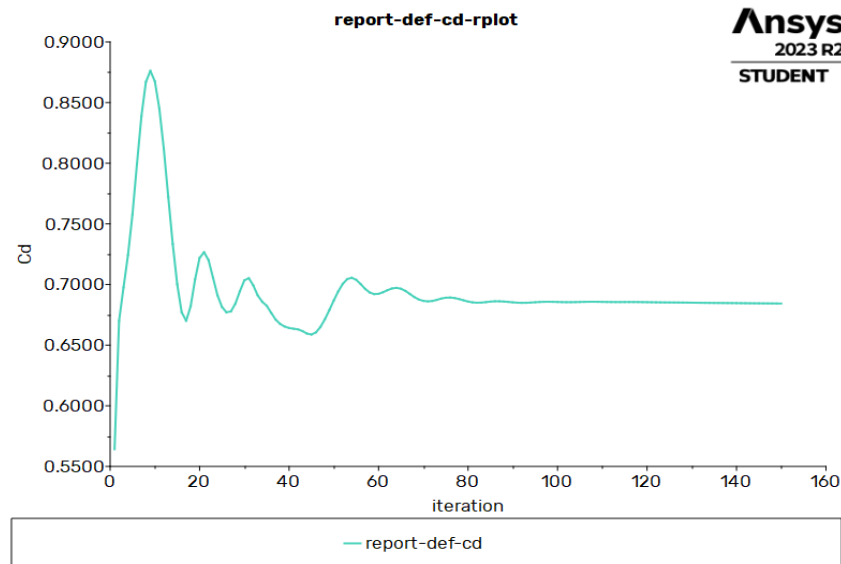
*Slika 5.9 Višestruke promjene dinamičkog tlaka*



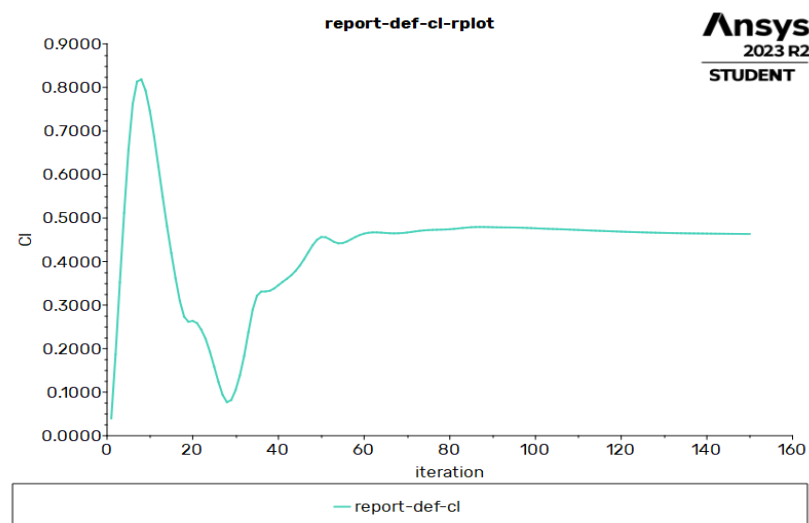
*Slika 5.10 Dinamički tlaka u kosom pogledu*



Osim ovih rezultata program nam dopušta pronalazak *koeficijent otpora*  $C_D$  i *koeficijent dinamičnog uzgona*  $C_L$ . U oba slučaja se može vidjeti da nakon određenog broja iteracija ne dolazi više do promjene koeficijenta. *Koeficijent otpora*  $C_D$  u ovome slučaju iznosi 0,68 što je i očekivano radi grube geometrije automobila u odnosu na današnje suvremene automobile kod kojih iznosi oko 0,35. *Koeficijent dinamičnog uzgona*  $C_L$  iznosi 0,46 što znači da postoji određeni uzgon koji djeluje na geometriju automobila.



Slika 5.11 Graf koeficijenta otpora zraka  $C_D$



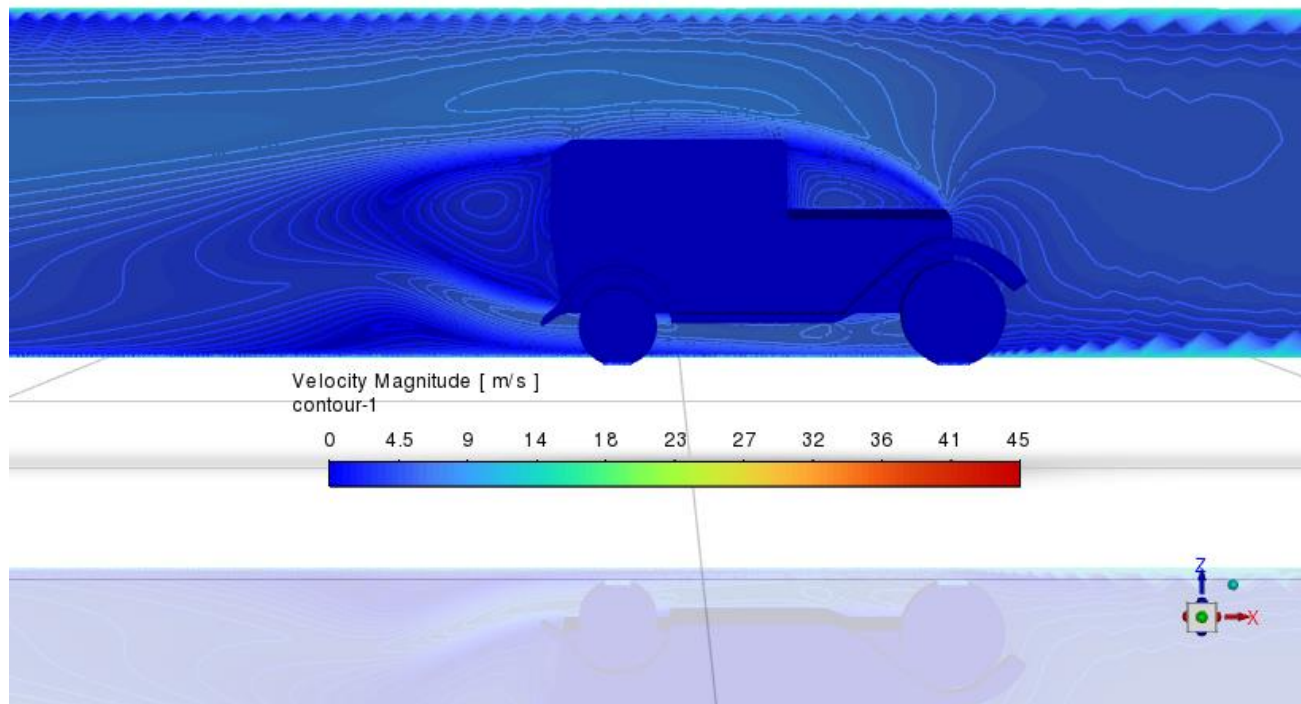
Slika 5.12 Graf koeficijenta dinamičnog uzgona  $C_L$

## 6. USPOREDBA DOBIVENIH REZULTATA OVISNO O PROMJENI BRZINE

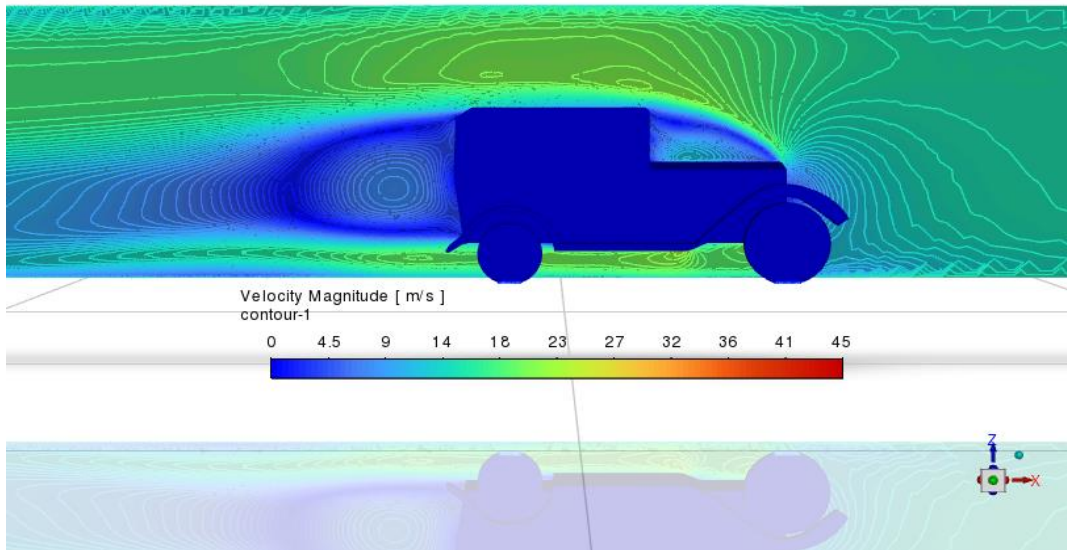
Prilikom simulacije je korištena ulazna brzina 15 m/s (54 km/h). Za usporedbu ćemo još napraviti simulaciju za ulaznu brzinu 5 m/s (18 km/h) i 30 m/s (108 km/h) te vidjeti promjene koje se stvaraju kod rješenja.

### 6.1. Utjecaj promjene brzine na konturu brzine

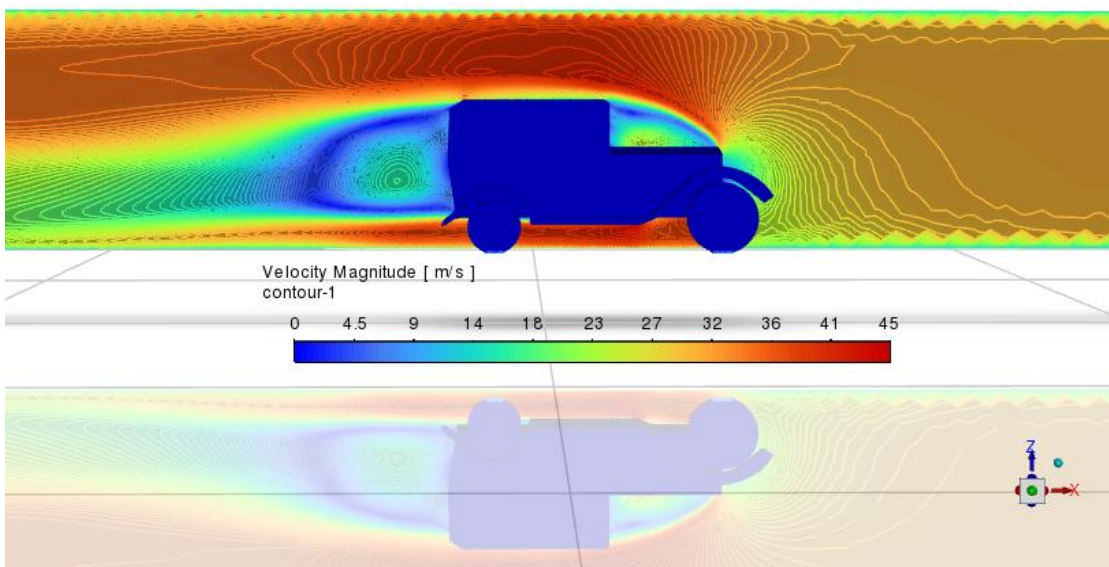
**Ansys**  
2023 R2  
STUDENT



*Slika 6.1.1 Minimalne promjene konture brzina kod 5 m/s*

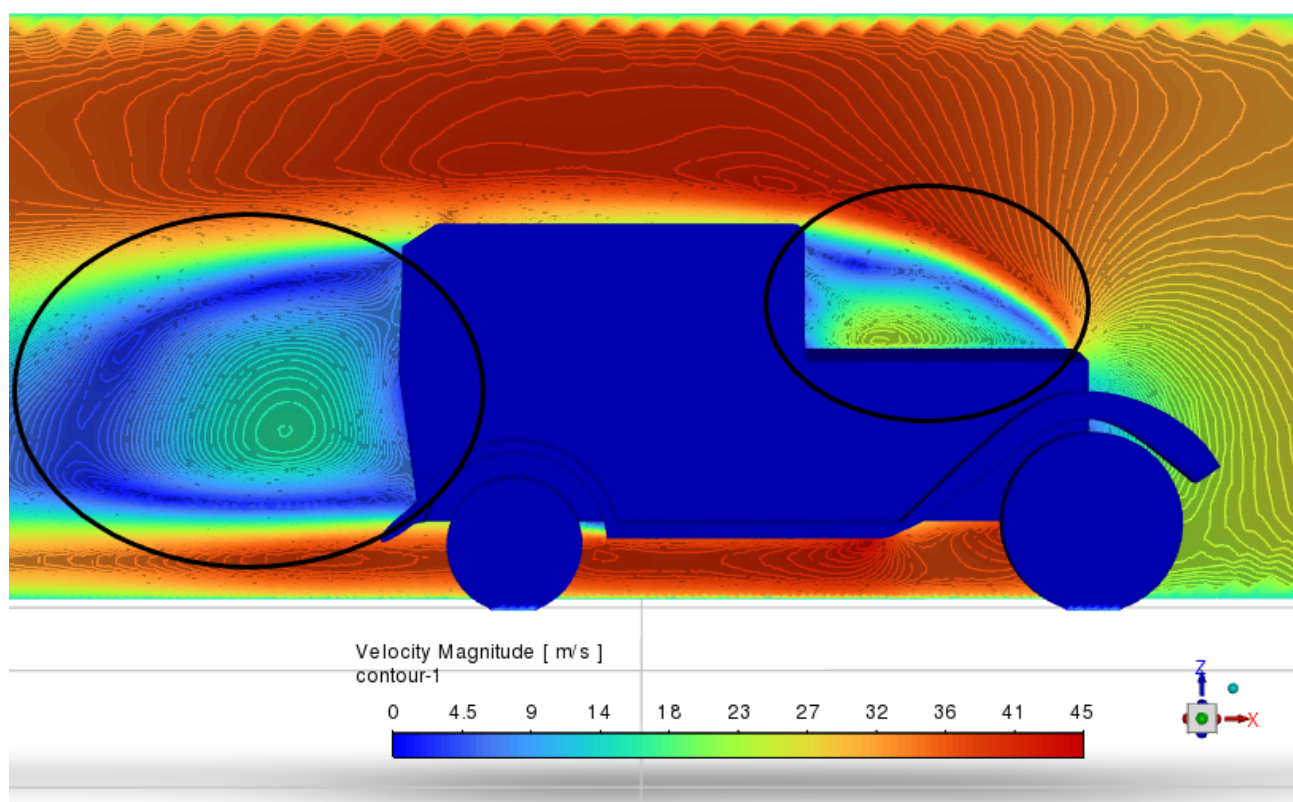


*Slika 6.1.2 Slabije promjene konture brzina kod 15 m/s*



*Slika 6.1.3 Jasno vidljive promjene kontura brzina kod 30 m/s*

Na slikama je brzina u intervalu od 0 m/s do 45 m/s pa se radi toga slike razlikuju po bojama. Iz priloženih slika vidljivo je da oko automobila dolazi do povećanje brzine struja zraka. Na slici 5.1.1 je vidljivo da uz vrlo malenu ulaznu brzinu od 5 m/s se i relativno malo povećava brzina strujanje zraka oko automobila što je prikazano svijetlo plavom bojom. A na slici 5.1.3 kod velike ulazne brzine od 30 m/s se značajno povećava brzina strujanja zraka što je prikazano tamno crvenom bojom iznad i ispod automobila.

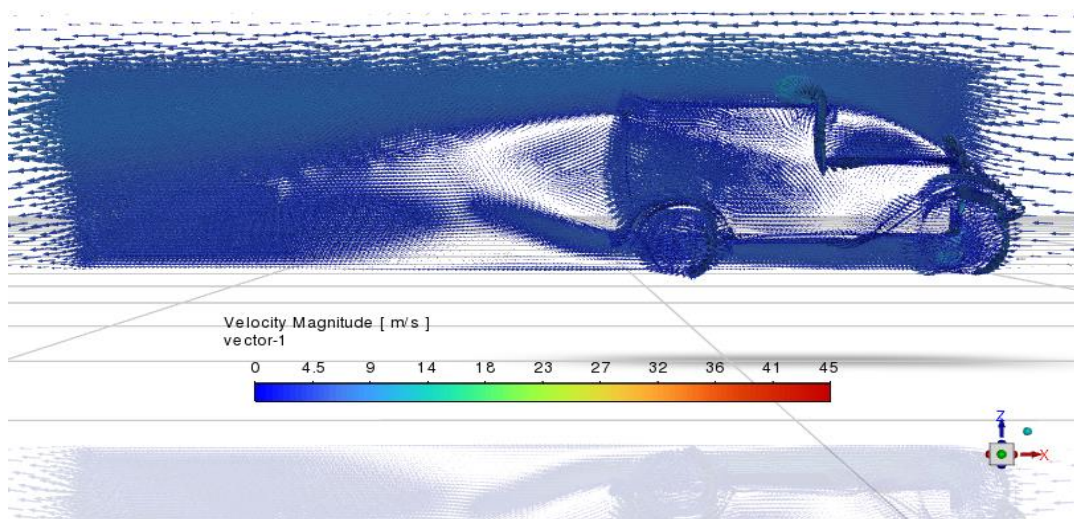


*Slika 6.1.4 Izraženo područje turbulentnog protoka zraka*

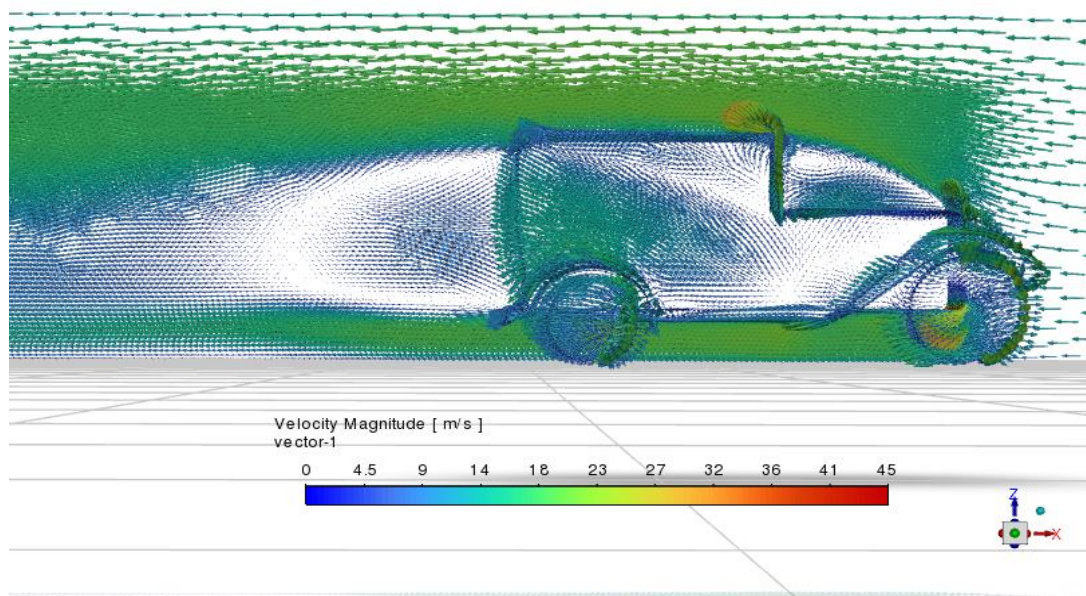
Uočljivo je kako se kod svih tri različite ulazne brzine, u područjima označenim na slikama 5.1.4, javljaju skoro identične brzine strujanja zraka. Zaključno se može reći da povećavanjem ulazne brzine automobila se povisuje i brzina strujanja zraka oko automobila.



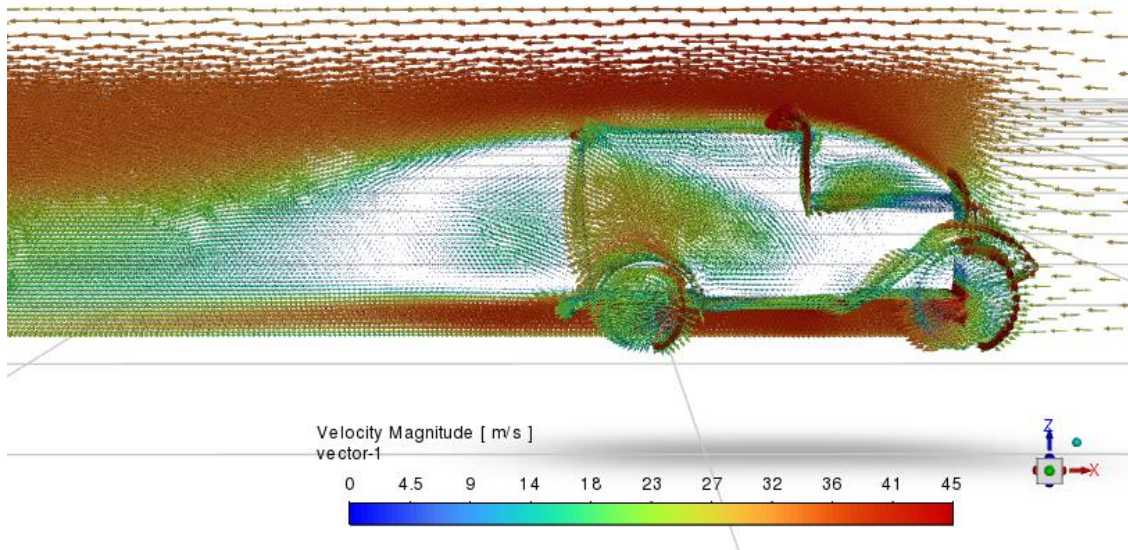
## 6.2. Utjecaj promjene brzine na vektor brzine



*Slika 6.2.1 Slaba promjena boja vektora brzine kod 5 m/s*



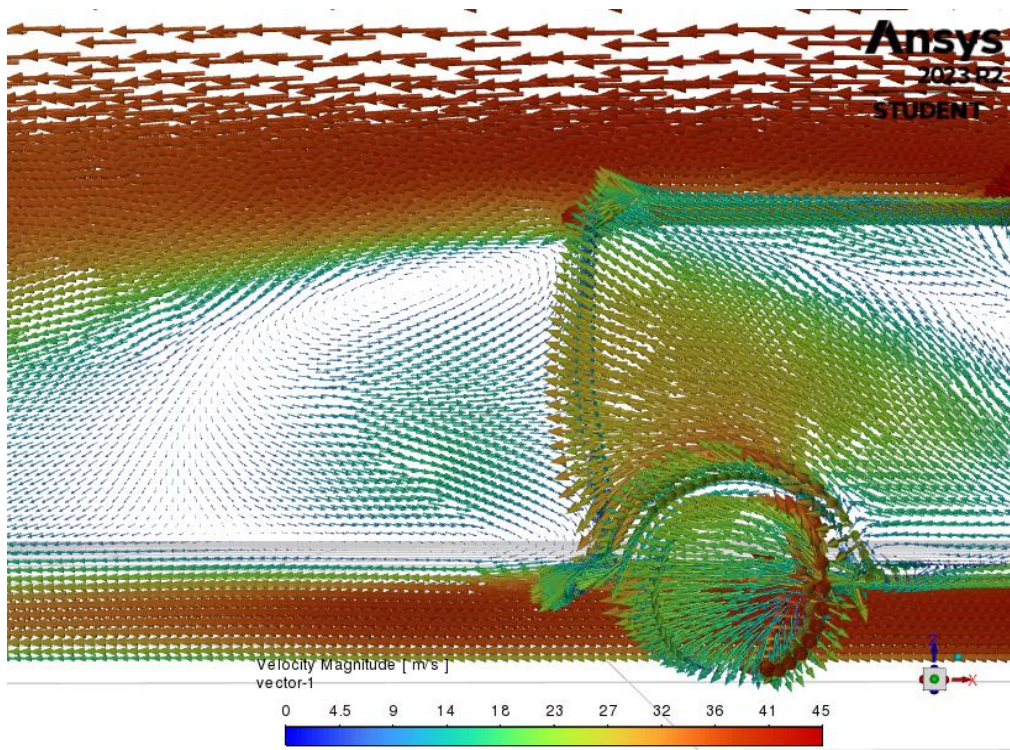
*Slika 6.2.2 Postepena promjena boja vektora brzine kod 15 m/s*



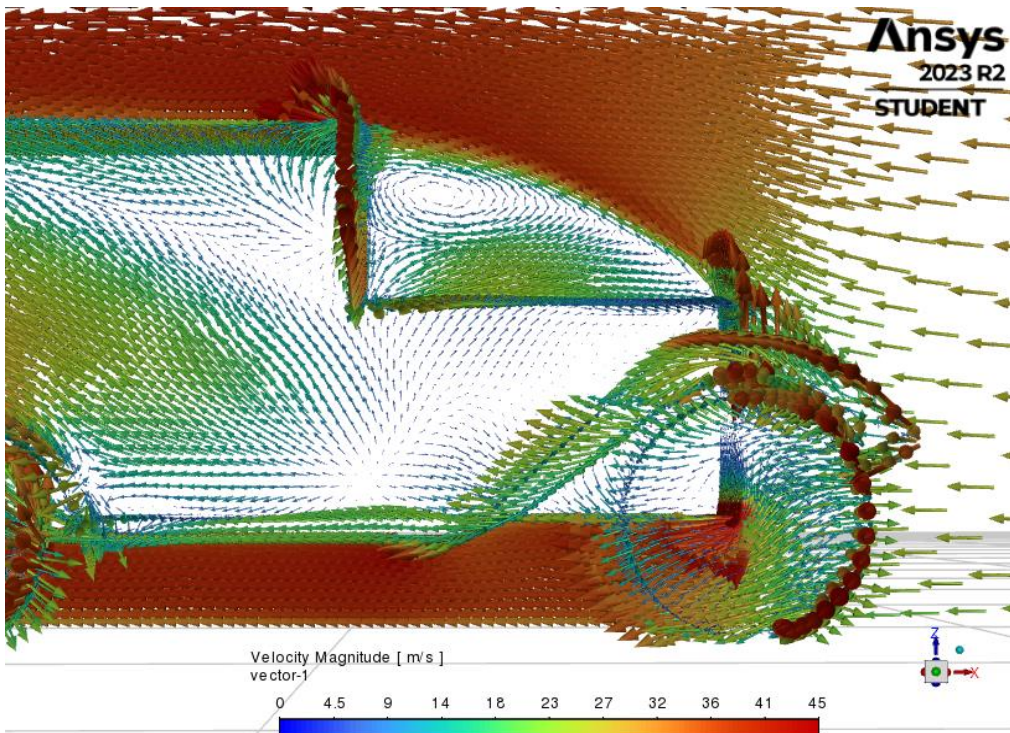
*Slika 6.2.3 Nagla promjena vektora brzine kod 30 m/s*

Na slikama je brzina u intervalu od 0 m/s do 45 m/s pa su radi toga vektori različitih boja. Na slikama je vidljivo kako nema promjene smjera strujanja zraka ili brzine strujanja prije automobila, odnosno vektor održava svoj smjer kretanja. Prilikom udara u automobil vektori mijenjaju svoj smjer strujanja te zaobilaze automobil povećanom brzinom. Smjer kretanja strujnice zraka je jednak u sva tri slučajeve, jedino što se mijenja je brzina strujanja. U sljedećim slikama je detaljnije vidljivo kako se vektori struja zraka ponašaju u područjima gdje dolazi do prepreke, odnosno automobila. Vidljivo je kako dolazi do turbulentnog strujanja zraka u području gdje je i smanjena brzina strujanja zraka.





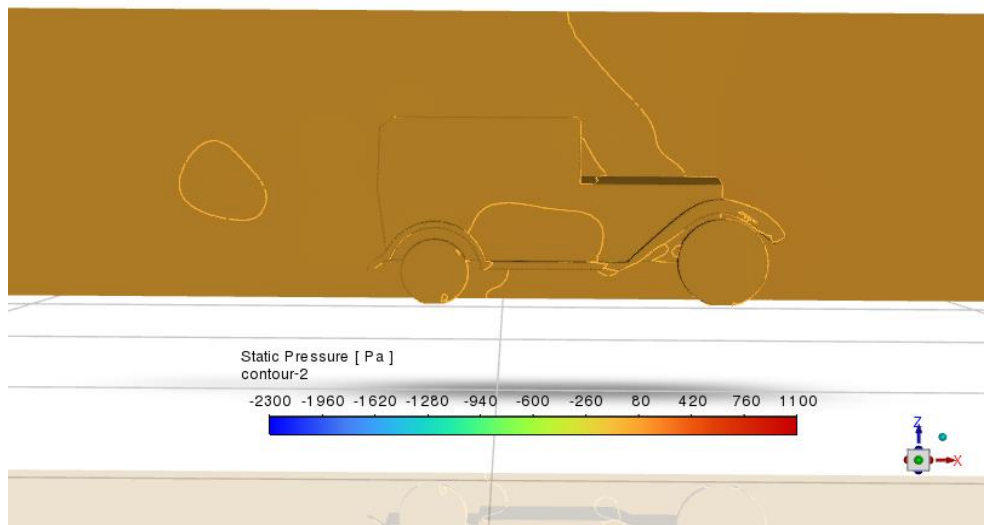
*Slika 6.2.4 Detaljniji prikaz vektora iza automobila kod 30 m/s*



*Slika 6.2.5 Detaljniji prikaz vektora iznad poklopca motora automobila kod 30 m/s*

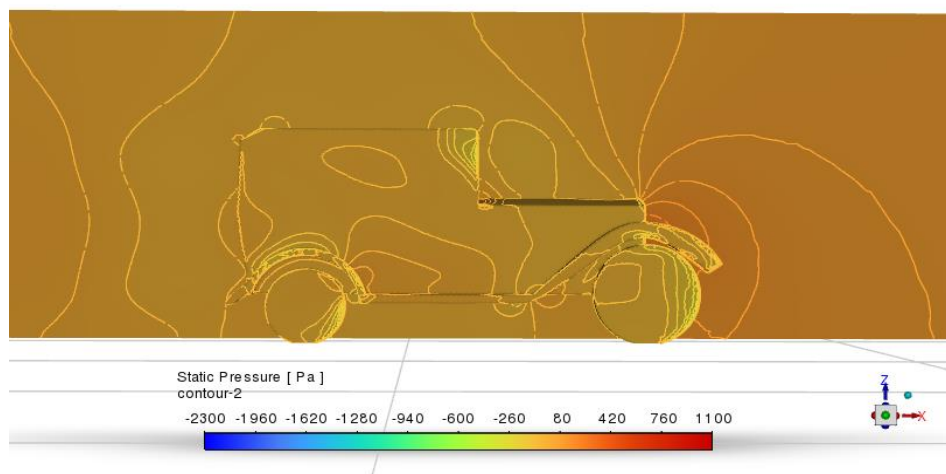
### 6.3. Utjecaj promjene brzine na statički tlak

**Ansys**  
2023 R2  
STUDENT



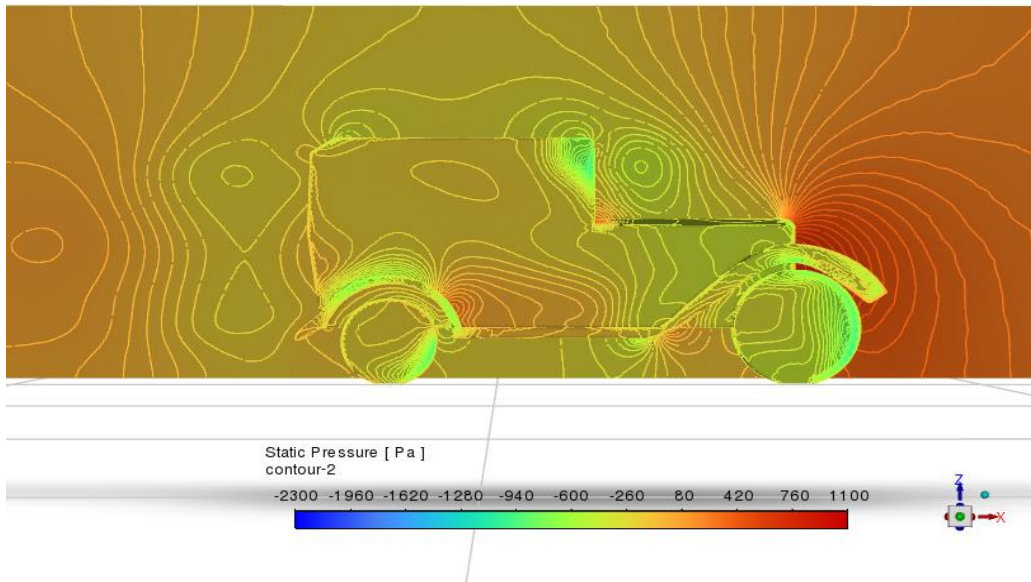
*Slika 6.3.1 Gotovo nepostojeća promjena konture statičkog tlaka kod 5 m/s*

**Ansys**  
2023 R2  
STUDENT

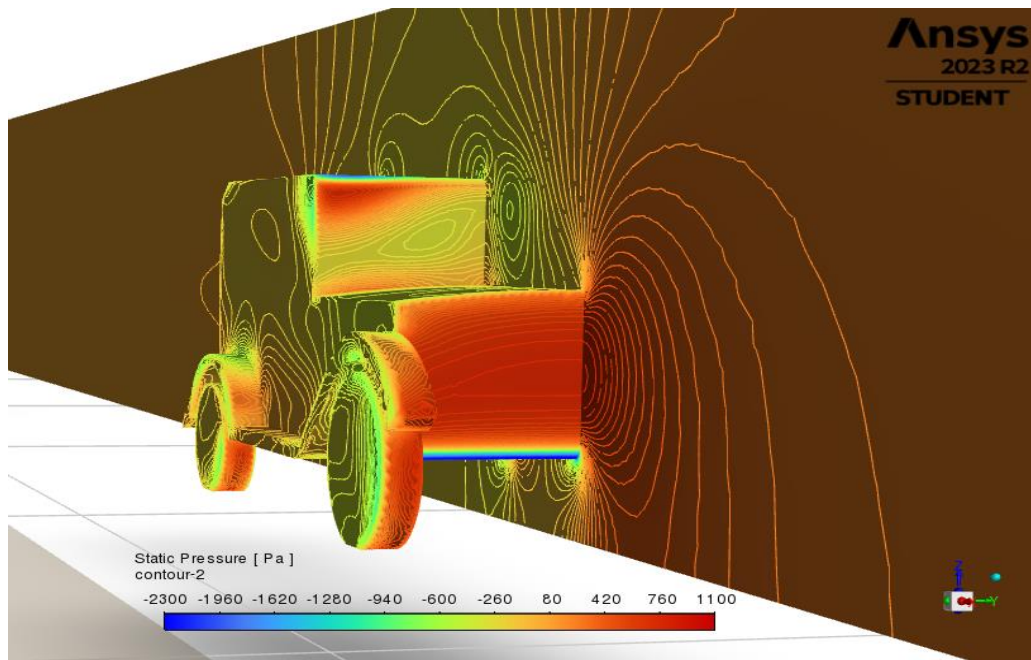


*Slika 6.3.2 Lagano stvaranje promjene konture statičkog tlaka kod 15 m/s*





Slika 6.3.3 Značajnije promjena konture statičkog tlaka kod 30 m/s

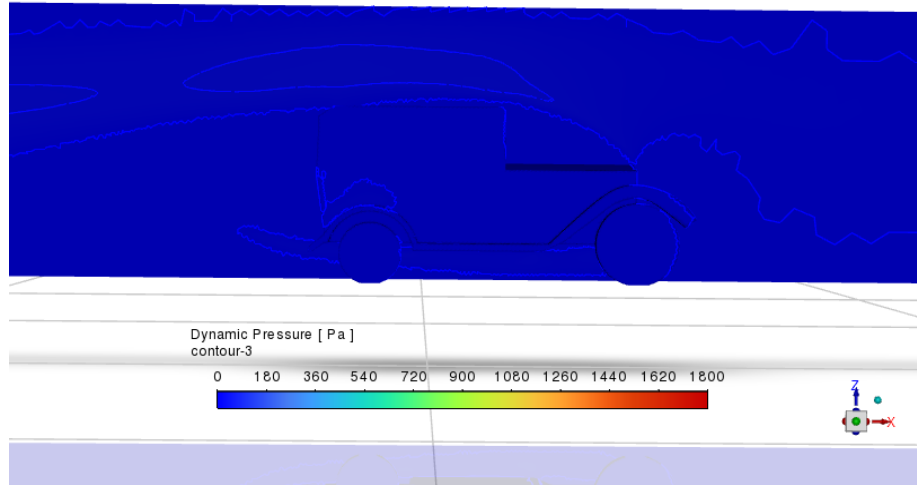


Slika 6.3.4 Kosi grafički prikaz uz naglašene promjene konture statičkog tlaka kod 30 m/s

Područje statičkog tlaka je od -2300 Pa do 1100 Pa što se označava različitim bojama na slikama. Dolazi do vrlo malene promjene statičkog tlaka kod malih brzina kao što je prikazano na slici 5.3.1, a kod većih brzina dolazi do značajnije promjene statičkog tlaka. Na slici 5.3.4 se vidi na kojim dijelovima je visok statički tlak, a kod kojih je vrlo nizak.

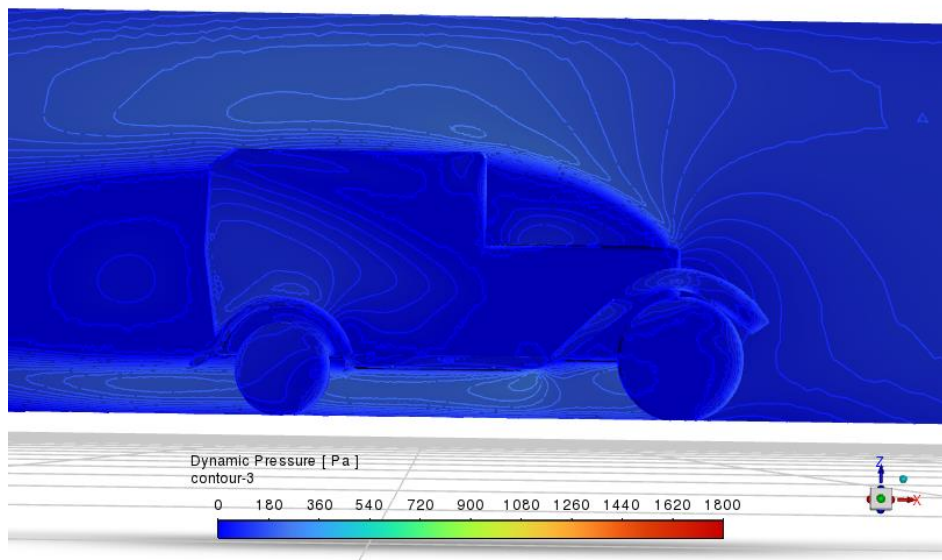
## 6.4. Utjecaj promjene brzine na dinamički tlak

**Ansys**  
2023 R2  
STUDENT

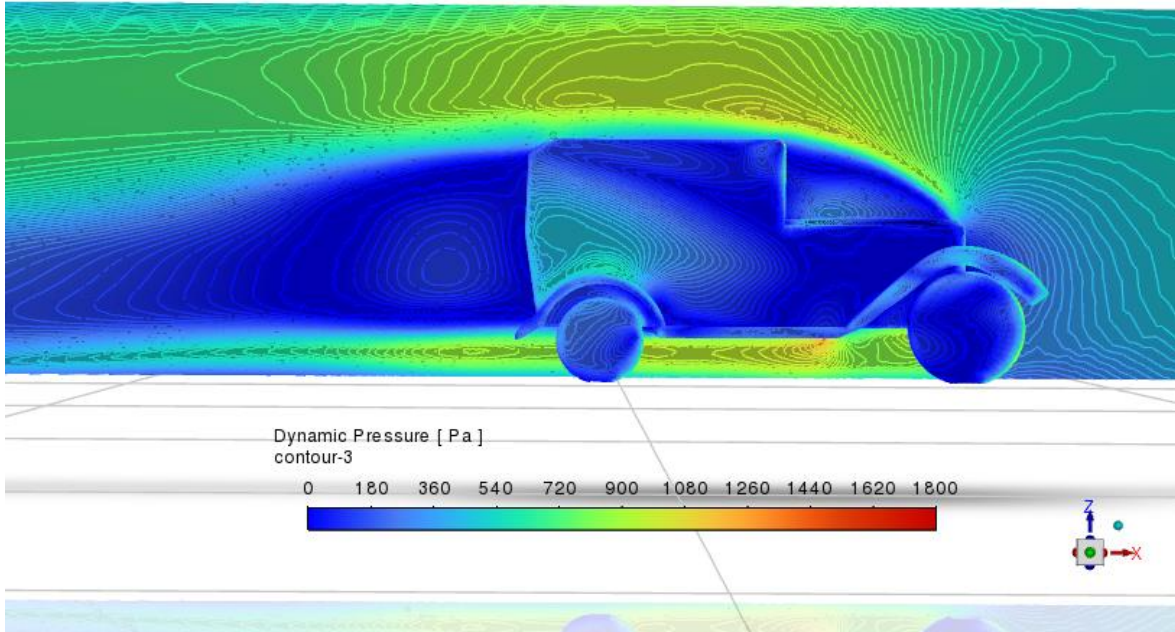


*Slika 6.4.1 Najmanje promjene konture dinamičnog tlaka kod 5 m/s*

**Ansys**  
2023 R2  
STUDENT



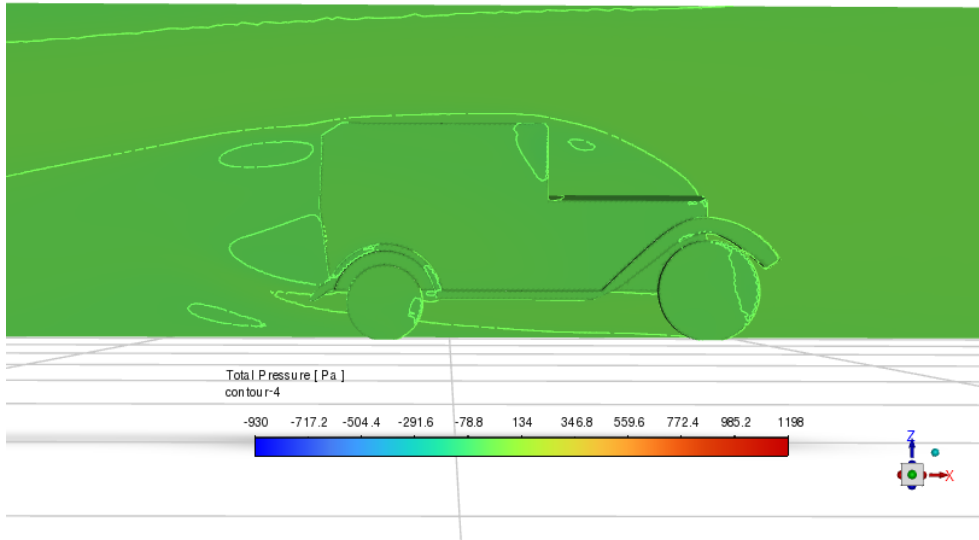
*Slika 6.4.2 Postepene promjene konture dinamičnog tlaka kod 15 m/s*



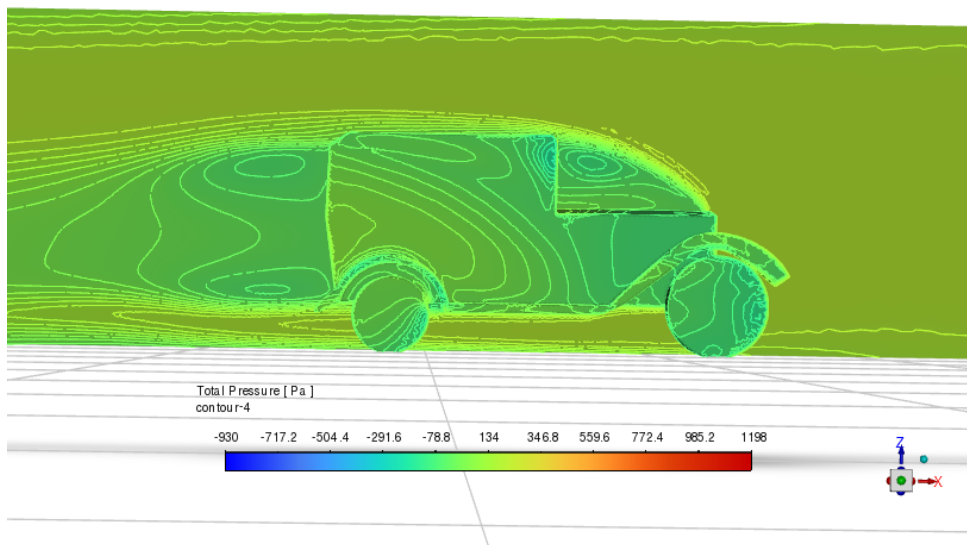
*Slika 6.4.3 Najveće promjene konture dinamičnog tlaka kod 30 m/s*

Na slikama moguće je vidjeti da se dinamični tlak ponaša kao i statički, povećanjem ulazne brzine automobila se povećava i dinamični tlak koji djeluje na automobil i u području oko automobila.

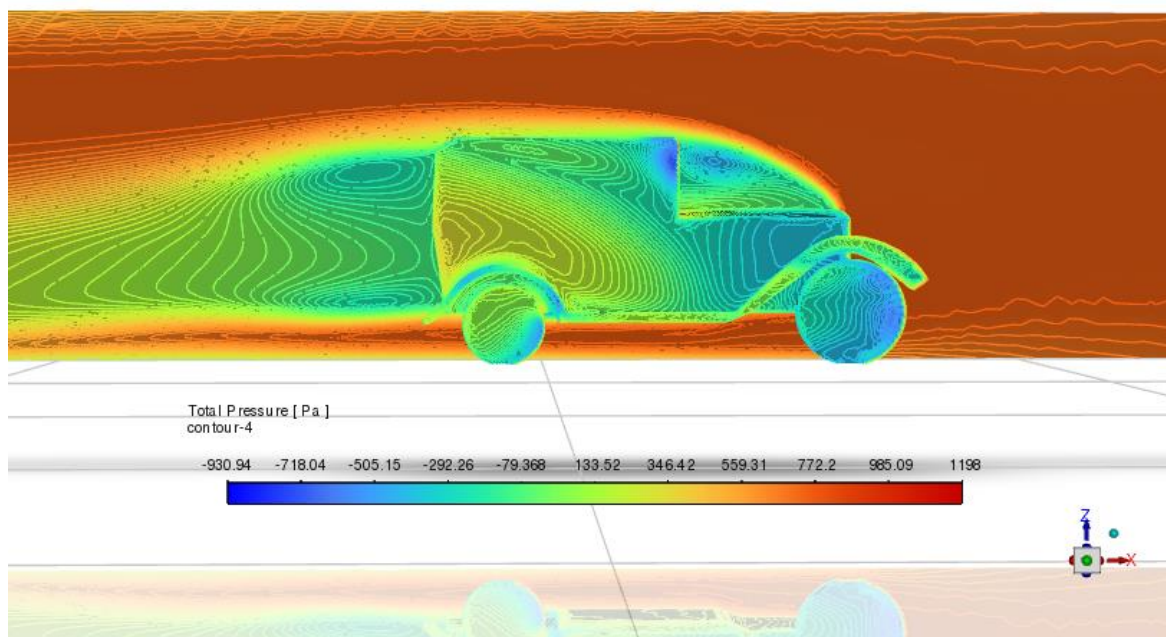
## 6.5. Utjecaj promjene brzine na totalni tlak



*Slika 6.5.1 Neznatne promjene konture totalnog tlaka kod 5 m/s*



*Slika 6.5.2 Početak znatnije promjene konture totalnog tlaka kod 15 m/s*



*Slika 6.5.3 Višestruke promjene konture totalnog tlaka kod 30 m/s*

Područje totalnog tlaka je od -930 Pa do 1198 Pa što je na slikama prikazano različitim bojama. Totalni tlak dobije se kao zbroj statičkog i dinamičnog tlaka. Povećavanjem brzine se totalni tlak također povećava što je vidljivo i u slikama. Moguće je primijetiti da totalni tlak kao i statički tlak prijelazi ispod nule što je ispod atmosferskog tlaka, a moguće ga je uočiti na slikama u plavoj boji.

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu zadatak je bio provesti detaljnu analizu turbulentnog strujanja oko pojednostavljenog oblika automobila te usporediti rezultate za različite ulazne brzine što je izvedeno korištenjem programa pod nazivom ANSYS. Bitno je prvo postaviti mrežu na geometriju i dodati rubne uvjete koji su vrlo značajni za simulaciju kako bi dobili točan grafički prikaz i podatke te nakon toga se samo mijenjaju ulazni podaci. Za usporedbu dobivenih podataka korištene su 3 različite ulazne brzine koje su iznosile 5, 15, 30 m/s. Ulazna brzina predstavlja brzinu kojom bi se automobil kretao u stvarnosti te promjenom ulazne brzine dobivamo različite rezultate i otpore koje djeluju na automobil. Vidljivo je iz usporedbe rezultata da povećavanjem brzine dolazi do povećavanja statičkog, dinamičnog i totalnog tlaka. Također je vidljivo kako povećavanjem brzine dolazi do naglijeg skretanja vektora struja zraka kod prilaznju geometriji. Iz grafičkih prikaza saznajemo da će se javljati turbulentno strujanje iznad poklopca motora automobila te iza automobila. Također, zahvaljujući vektorskim prikazom strujanja zraka, možemo vidjeti u kojem području dolazi do najvećeg otpora zraka, a to je mjesto gdje su najgušći vektori zraka, odnosno na grubim prijelazima. Razlog simulacije i usporedbe rezultata kod različitih ulaznih brzina je taj što se želi vidjeti područje u kojem bi se moglo nešto promijeniti na automobilu s namjerom optimizacije i smanjenje otpora zraka koji znatno utječe na automobil. Sve dobivene informacije i rezultata znatno odlučuju o konačnom obliku automobila.



## 8. POPIS LITERATURE

- [1] S interneta, <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/cfd-simulation/67873>, 28.12.2023.
- [2] S interneta, <https://octane126.com/en/aerodynamics.php>, 28.12.2023.
- [3] S interneta, <https://www.ansys.com/>, 2.1.2024.
- [4] S interneta, <https://x-engineer.org/aerodynamic-drag/>, 25.5.2024.
- [5] S interneta, <http://www.aviation-history.com/theory/airfoil.htm>, 28.5.2024.
- [6] Kranjčević, Lado: „Mehanika fluida“, radni materijali iz kolegija “Mehanika fluida”, 2023.
- [7] S interneta, <https://www.comsol.com/blogs/studying-the-airflow-over-a-car-using-an-ahmed-body/>, 3.4.2015.
- [8] S interneta, <https://simutechgroup.com/why-is-meshing-important-for-fea-fluid-simulations/>, 11.1.2024.
- [9] S interneta, <https://pigslearning.com/civil-engineering/ansys-simulation-software-detailed-guide/>, 14.1.2024.

## 9. TABLICA SLIKA

Slika 2.1 Primjer opstrujavanje fluida kod automobila.....	2
Slika 2.2 Sučelje programa ANSYS .....	3
Slika 3.1 Koeficijent otpora strujanja $C_D$ za više dvodimenzijskih likova.....	5
Slika 3.2 Smjer djelovanja sile uzgona i područja niskog i visokog tlaka .....	5
Slika 4.1 Zadani oblik automobila na kojem se izrađuje simulacija .....	6
Slika 4.2 Oblik prema kojem se izrađuje domena i uvjeti .....	7
Slika 4.3 Domena prikazana u programu SpaceClaim .....	7
Slika 4.4 Grafički pregled numeričke mreže .....	8
Slika 4.5 Uvećani grafički pregled numeričke mreže .....	8
Slika 4.6 Pregled graničnih slojeva uz stijenku automobila.....	9
Slika 4.7 Prikaz odabira metode k-omega.....	10
Slika 4.8 Prikaz podataka na ulazu (inlet).....	11
Slika 4.9 Prikaz podataka na izlazu (outlet).....	11
Slika 4.10 Prikaz parametara u pokretanju računanja.....	12
Slika 4.11 Graf iteracije .....	12
Slika 5.1 Grafički pregled konture brzina .....	13
Slika 5.2 Kosi pregled konture brzina.....	13
Slika 5.3 Vektori brzina .....	14
Slika 5.4 Smjer gibanja strujnice brzina .....	14
Slika 5.5 Turbulentno strujanja strujnice brzina na motoru .....	15
Slika 5.6 Turbulentno strujanja strujnice brzina iza automobila .....	15
Slika 5.7 Promjena statičkog tlaka.....	16
Slika 5.8 Promjena statičkog tlaka u kosom pogledu .....	16
Slika 5.9 Višestruke promjene dinamičkog tlaka .....	17
Slika 5.10 Dinamički tlaka u kosom pogledu.....	17
Slika 5.11 Graf koeficijenta otpora zraka $C_D$ .....	18
Slika 5.12 Graf koeficijenta dinamičnog uzgona $C_L$ .....	18
Slika 6.1.1 Minimalne promjene konture brzina kod 5 m/s.....	19
Slika 6.1.2 Slabije promjene konture brzina kod 15 m/s .....	20
Slika 6.1.3 Jasno vidljive promjene kontura brzina kod 30 m/s.....	20
Slika 6.1.4 Izraženo područje turbulentnog protoka zraka.....	21



Slika 6.2.1 Slaba promjena boja vektora brzine kod 5 m/s .....	22
Slika 6.2.2 Postepena promjena boja vektora brzine kod 15 m/s .....	22
Slika 6.2.3 Nagla promjena vektora brzine kod 30 m/s .....	23
Slika 6.2.4 Detaljniji prikaz vektora iza automobila kod 30 m/s .....	24
Slika 6.2.5 Detaljniji prikaz vektora iznad poklopca motora automobila kod 30 m/s.....	24
Slika 6.3.1 Gotovo nepostojeća promjena konture statičkog tlaka kod 5 m/s.....	25
Slika 6.3.2 Lagano stvaranje promjene konture statičkog tlaka kod 15 m/s.....	25
Slika 6.3.3 Značajnije promjena konture statičkog tlaka kod 30 m/s .....	26
Slika 6.4.1 Najmanje promjene konture dinamičnog tlaka kod 5 m/s .....	27
Slika 6.4.2 Postepene promjene konture dinamičnog tlaka kod 15 m/s .....	27
Slika 6.4.3 Najveće promjene konture dinamičnog tlaka kod 30 m/s .....	28
Slika 6.5.1 Neznatne promjene konture totalnog tlaka kod 5 m/s .....	29
Slika 6.5.2 Početak znatnije promjene konture totalnog tlaka kod 15 m/s .....	29
Slika 6.5.3 Višestruke promjene konture totalnog tlaka kod 30 m/s .....	30

## 10. SAŽETAK

Tema završnog rada je „Analiza optjecanje fluida oko aerodinamičnog profila“. U ovome završnom radu ukratko je objašnjena računalna dinamika fluida te njezina važnost u automobilskoj industriji te koeficijent otpora i koeficijent dinamičnog uzgona. Zatim je objašnjeno kreiranje simulacije korak po korak u programu ANSYS. Potom se pojednostavljuje geometrija automobila, pravi numerička mreža i odlučuje se s kojim ćemo parametrima raditi simulaciju. Nakon izrađene simulacije se objašnjavaju i grafički prikazuju dobiveni rezultati za određenu geometriju automobila. Na završetku se uspoređuju rezultati konture brzina, vektori brzina, statički tlakovi, dinamički tlakovi i totalni tlakovi za različite ulazne brzine.

Ključne riječi: aerodinamika, ANSYS, računalna dinamika fluida, turbulentno strujanje, brzina, auto industrija, simulacija

## **11. SUMMARY**

The topic of the final paper is „Analysis of Fluid Flow Around Streamlined Profile“. In this final paper, computational fluid dynamics and its importance in the automotive industry, as well as the drag coefficient and the dynamic lift coefficient are briefly explained. Afterwards, step by step simulation creation in the ANSYS program was explained. The geometry of the car is then simplified, a numerical network is created and it is decided with which parameters we will run the simulation. After the simulation, the obtained results for a certion geometry of the car are explained and graphically displayed. At the end, the results of velocity contours, velocity vectors, static pressures, dynamic pressures and total pressures for different inlet velocities are compared.

Key words: aerodynamics, ANSYS, computational fluid dynamics, turbulent flow, speed, auto industry, simulation