UNIVERZITET SINGIDUNUM

Departman za poslediplomske studije

Masa auta - Bitnost i mogućnost smanjenja

- MASTER RAD –

Mentor :

Prof. dr Dragan Cvetković

Student :

Dino Radivojević
411078/2012

Beograd, 2013

SADRŽAJ

1. UVOD ... 3

2. METODOLOGIJA NAUČNOG ISTRAŽIVANJA ... 4

2.1 CILJEVI ISTRAŽIVANJA ... 4

2.2 PREDMET ISTRAŽIVANJA ... 4

2.3 HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA ... 4

2.4 METODE ISTRAŽIVANJA ... 5

2.5 STRUKTURA RADA ... 5

3. ISTORIJA UPOTREBE LAGANIH MATERIJALA ... 6

4. UTICAJ MASE NA VOZNE KARAKTERISTIKE ... 8

4.1 UTICAJ MASE NA UBRZANJE ... 8

4.1.1 UOPŠTENO ... 8

4.1.2 ANALIZA ... 9

4.1.3 SUMIRANJE ... 10

4.2 UTICAJ MASE NA ZAUSTAVLJANJE ... 11

4.2.1 UOPŠTENO ... 11

4.2.2 ANALIZA ... 11

4.2.3 SUMIRANJE ... 12

4.3 UTICAJ MASE NA UPRAVLJIVOST ... 12

4.3.1 UOPŠTENO ... 12

4.3.2 ANALIZA ... 13

4.3.3 SUMIRANJE ... 14

5. UTICAJ MASE NA EFIKASNOST, EKOLOGIJU I BEZBEDNOST ... 16

5.1 UTICAJ MASE NA ENERGETSKU EFIKASNOST ... 17

5.1.1 UOPŠTENO ... 17

5.1.2 ANALIZA ... 18

5.1.3 SUMIRANJE ... 20

5.2 UTICAJ MASE NA EKOLOGIJU ... 21

5.2.1 UOPŠTENO ... 21

5.2.2 ANALIZA ... 22

5.2.3 SUMIRANJE ... 23

5.3 UTICAJ MASE NA BEZBEDNOST ... 24

5.3.1 UOPŠTENO ... 24

5.3.2 ANALIZA ... 25

5.3.3 SUMIRANJE ... 27

6. METALNI MATERIJALI ... 28

6.1 GVOŽĐE I ČELIK ... 28

6.1.1 UOPŠTENO ... 28

6.1.2 ANALIZA ... 29

6.1.3 SUMIRANJE ... 31

6.2 TITANIJUM ... 32

6.2.1 UOPŠTENO ... 32

6.2.2 ANALIZA ... 32

6.2.3 SUMIRANJE ... 34

6.3 MAGNEZIJUM ... 35

6.3.1 UOPŠTENO ... 35

6.3.2 ANALIZA ... *35*
6.3.3 SUMIRANJE ... *37*
6.4 ALUMINIJUM ... ***38***
6.4.1 UOPŠTENO ... *38*
6.4.2 ANALIZA ... *39*
6.4.3 SUMIRANJE ... *42*
7. KOMPOZITNI NEMETALNI MATERIJALI ... **43**
7.1 UGLJENIČNA VLAKNA ... ***43***
7.1.1 UOPŠTENO ... *43*
7.1.2 ANALIZA ... *44*
7.1.3 SUMIRANJE ... *46*
7.2 PLASTIKA ... ***47***
7.2.1 UOPŠTENO ... *47*
7.2.2 3D AUTO ŠTAMPANJE - URBEE ... *48*
7.2.3 SUMIRANJE ... *50*
8. DUEL: BMW X5 VS. ALFA ROMEO 4C ... **51**
8.1 UOPŠTENO ... ***51***
8.2 ANALIZA ... ***53***
8.3 SUMIRANJE ... ***55***
9. LITERATURA ... **58**

1. UVOD

U 2013. godini registrovano je preko 1.500.000.000. automobila širom sveta, gde dominira SAD sa cifrom od čak 260.000.000. Ovaj podatak i ne čudi, jer je vreme koje je potrebno da automobil pređe put od nacrtnih ideja do gotovog proizvoda spremnog za vožnju, najkraće je u istoriji automobilizma, i iznosi samo 2 i po godine. Ljudi su prinuđeni da sve češće kupuju nove automobile, te se posebna pažnja mora posvetiti prilikom konstruisanja istih. Zahtevano je da vozila budu lakša za upravljanje, energetski efikasnija i sigurnija, što se jedino može ispuniti dobrim inženjeringom od samog starta, koristeći novije materijale kako bi se masa dovela na prihvatljiv nivo. Veoma mali broj ljudi zapita se kakav uticaj ima masa njihovog limenog ljubimca na, kako vozne karakteristike, tako i na bezbednost, potrošnju goriva i emisiju ugljen-dioksid (CO_2), koji je u današnje vreme jedan od najvećih problema sa kojim se suočava čovek. Svi smo donekle upoznati sa podacima o prevelikoj koncentraciji CO_2 u atmosferi, efektu staklene bašte, stvaranju ozonskih rupa, topljenju polarnih kapa i globalnom povećanju nivoa mora, ali mali broj ljudi svestan je koliko razlika u masi od 100 kg može doprineti ublažavanju tih pojava, kao i efikasnijem korišćenju vozila sa daleko manjim zaustavnim tragom, energetski efikasnijom potrošnjom i povećanom bezbednošću, koji se direktno odražavaju na finansijski aspekt, i mnogo važnije, na sigurniju, bezbedniju vožnju i održivi razvoj.

Današnja vozila imaju veliku masu jer se najvećim delom sastoje iz legura čelika, materijala koji se pokazao veoma čvrstim ali velike mase. Danas postoji veliki broj alternativnih materijala, čije dobijanje je skuplje, međutim postoji svesnost za neophodnošću smanjenja mase vozila, pa se zato ulažu velike količine novca u nova istraživanja i dalja usavršavanja alternativnih materijala. Nemetalni materijali koji će biti detaljno opisani u ovom radu su nove vrste *plastike, gume i stakla,* kao i *ugljeničnih vlakana,* a od metalnih *magnezijum, titanijum* i materijal o kome će biti najviše reči u ovom radu, *aluminijum.* Proteklih 25 godina uložene su velike količine truda, radnih sati i finansijskih sredstava u usavršavanje primene aluminijuma kao zamenu za dosad najkorišćeniji materijal u autoindustriji, čelik. Drugi metalni materijali kao alternativni nalaze se u početnim fazama ispitivanja i usavršavanja pa su njihove upotreba zasad ograničene na određene funkcije i lokacije na vozilu, ali se u narednim godinama očekuje veliki napredak, kako u usavršavanju postojećih, tako i izboru potpuno novih materijala, legura i načina dizajniranja automobila. Pravilno dizajniranje je jedan od krucijalnih faktora za proizvodnju automobila koji zadovoljavaju današnje sve više standarde, koje pored kupaca, ekologa, agencija za bezbednost u saobraćaju, definiše i svetska situacija ograničenih rezervi fosilnih goriva i mogućnost deficita istih. Alternativni dizajn, materijali i izbor pogonskog goriva, predstavljaju samu osnovu budućih vozila, koji će se na mnogim poljima bitno razlikovati o sadašnjih.

2. METODOLOGIJA NAUČNOG ISTRAŽIVANJA

2.1 CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Ciljevi ovog istraživanja su objašnjavanje u kojoj meri masa automobila utiče na parametre voznih karakteristika, bezbednosti, potrošnje goriva i emisije CO_2, zatim izračunavanje u kojoj meri masa automobila može biti redukovana upotrebom odgovarajućih, alternativnih materijala, pravilnim i blagovremenim dizajniranjem. Biće ukazano i na paradoks mase automobila, podatak da i pored alarmantne situacije automobili, i pored korišćenja lakših materijala, postaju sve teži.

Praktični cilj predstvlja i podizanje sveukupne svesti o ovom problemu, prevashodno misleći na stanovništvo, ljude koji kupuju i eksploatišu automobile, jer u autoindustriji to znanje i ta svest postoje, samo ih treba adekvatno prezentovati kupcima.

2.2 PREDMET ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja predstavlja sama *masa automobila*, njena mogućnost za menjanjem, zatim uticaj na brojne parametre, sa akcentom na uticaju na životnu sredinu. U ovom radu biće objašnjen direktan uticaj promene mase na različite parametre, kako bi se dokazala nesumnjiva potreba za smanjenjem mase vozila, koja se može postići pravilnim dizajniranjem i projektovanjem, korišćenjem brojnih simulacionih softvera, razumevanjem karakteristika određenih metala i njihovih legura.

2.3 HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Iako je aktuelan trend povećanja mase vozila, dolazi nova era u kojoj kupci motornih vozila traže veliku ekonomičnost od svojih automobila, bezbednost i upravljivost, a to je jedino moguće uz nove, moderne agregate, aerodinamično oblikovanje karoserije i upotrebu skupljih, ali lakših i izdržljivijih materijala. Pravilnim projektovanjem „zona gnječenja“ i pravim izborom materijala, automobili mogu biti znatno veći, komforniji, ali i lakši za vožnju, ekonomičniji, i daleko bezbedniji. Određeni metali ponašaju se na vrlo predvidljiv način, pa se njihovim razumevanjem i pravilnim korišćenjem, automobili danas mogu napraviti znatno bezbednijim po sve učesnike u saobraćaju.

U današnje vreme, iako je dosta jeftinija i shvaćena, redukcija mase je i dalje skupa, dodatna opcija, koja bi trebalo primenom sve strožih propisa o uticaju automobila na bezbednost u saobraćaju, životnu sredinu, EURO normama i ceni nafte, jednog dana da postane i standard.

2.4 METODE ISTRAŽIVANJA

Metodologija istraživanja je velikim delom bila zasnovana na korišćenju adekvatne pisane literature, uz korišćenje interneta, s tim što su korišćeni samo verifikovani sajtovi velikih svetski proizvođača automobila, kao i najvećih svetskih udruženja i firmi koji se bave očuvanjem životne sredine i uvođenjem rigoroznih propisa na polju automobilske industrije.

Polazeći od osnovnog naučnog postulata da se metodološkim postupkom dolazi do određenog saznanja, izdvojićemo nekoliko faza: faza empirijskog istraživanja, faza utvrđivanja pojava, benchmarking, analiza i sinteza. Polazeći od opštih metoda istraživanja, primenićemo sintetički dijalektički metod, pre svega radi utvrđivanja konkretne nužnosti iz činjenica.

Metod benchmarking se najvećim delom koristio u poglavlju mini studija, gde se na direktnom primeru prikazale razlike i sličnosti između dva modela automobila, međutim korišćen je tokom celog rada, pogotovu u poglavlju 6, gde su poređeni različite karakteristike određenih materijala.

Metode naučnog (logičkog) objašnjenja koje ćemo primeniti su zaključivanje na osnovu indukcije i dedukcije, analize i sinteze, apstrakcije, generalizacije, kompleksnog posmatranja i analize sadržaja. Metod deskripcije je takođe bio široko rasprostranjen tokom čitavog rada.

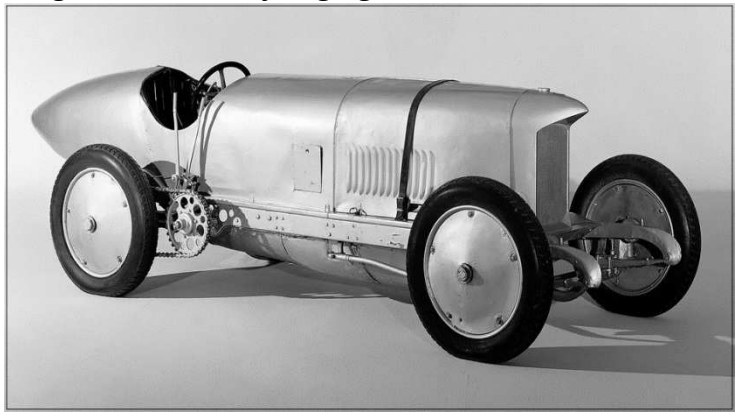
2.5 STRUKTURA RADA

Rad se sastoji iz 10 poglavlja. U prvom poglavlju, *UVOD,* objašnjena je, u kratkim crtama, problematika koja se istražuje, sa akcentom na velikom broju novih vozila velike mase, i mogućnosti redukcije iste. U drugom poglavlju, *METODOLOGIJA NAUČNOG ISTRAŽIVANJA,* definisana je metodologija istraživanja, tj. *cilj i predmet, hipoteze, metode istraživanja,* kao i *struktura rada.* Treće poglavlje, *ISTORIJA UPOTREBE LAGANIH MATERIJALA,* predstavlja uvid u istoriju korišćenja aluminijuma i drugih laganih materijala prilikom konstrukcije novih vozila.U četvrtom poglavlju, *UTICAJ MASE NA VOZNE KARAKTERISTIKE,* objašnjen je uticaj mase vozila na vozne karakteristike, koje su podeljene na oblasti *ubrzanje, zaustavljanje i upravljivost.* U petom poglavlju, *UTICAJ MASE NA EFIKASNOST, EKOLOGIJU I BEZBEDNOST*, predstavljen je uticaj mase vozila na sveukupnu bezbednost vozila i drugih učesnika u saobraćaju, zatim uticaj na potrošnju goriva i povezano sa tim, uticaj na proizvodnju i otpuštanje CO_2 u atmosferu. U šestom poglavlju, METALNI MATERIJALI, opisane su fizičke i hemijske karakteristike određenih zamenskih marterijala, detaljno upoređivane na različitim osnovama, u kojem je čelik postavljen kao materijal benčmark. U sedmom poglavlju, *KOMPOZITNI NEMETALNI MATERIJALI,* opisane su karakteristika materijala ugljeničnih vlakana kao zamenski materijal i objašnjene zamenske funkcije različitih vidova plastike kao i zanimljivih novih procesa vezano za njih, dok je u osmom poglavlju, *MINI STUDIJA SLUČAJA,* predstavljena jedna manju studija slučaja zasnovana na duelu dva poprilično različita autimobila, BMW X5 i Alfa Romeo 4C, na čijim razlikama direktno se može ukazati na probleme koje sa sobom donosi višak mase, a koje prednosti donosi sveukupno smanjenje koje se očekuje u bliskoj budućnosti. Deveto poglavlje, ZAKLJUČAK, predtsvalja deo u kome je predstavljen rezultat ovog istraživanja, dok je u desetom poglavlju, *LITERATURA,* predstavljen spisak referentne literature i drugih izvora koje je korišćena prilikom izrade ovog master rada.

3. ISTORIJA UPOTREBE LAGANIH MATERIJALA

Pojam smanjenja mase automobila upotrebom lakših, kompozitinih materijala datira sa sredine 19. veka, kada su automobilski konstruktori po prvi put počeli da menjaju gvožđane i čelične delove sa delovima napravljenih od laganih materijala. Prvi zapisi koji potvrđuju korišćenje aluminijuma kao materijala pri pravljenju karoserije (eng. car body) dolaze iz 1899. godine, a samo dve godine kasnije i aluminijum je korišćen i na motornom bloku. To nije ni čudo jer se krajem 19. i početkom 20. veka sprovodila velika istraživanja alternativnih materijala, prvenstveno zbog hidro i avio industrije. Čovek koji je započeo sa pomenutom potrebom aluminijuma zvao se *Karl Friedrih Benz*, koji je bio na čelu auto-kompanije *Benz & Cie.* Jedan od najbitnijih automobila koji je on konstruisao, automobil koji je u to vreme pomerio granice i postavio nove standarde, zvao se *Blitzen Benz.*

Automobil je konstruisan 1909. godine, i imao je agregat od čitavih 21.5 L radne zapremine i 200 Ks, što je bilo dovoljno da postavi brzinski rekord od 226.9 km/h koji niko nije mogao da obori više od deset godina! Karakteristično za ovaj automobil je to što je prvo bio konstruisan ovaj masivni agregat, pa je tek onda oko njega polako sastavljana karoserija tadašnjeg „*Grand Prix*“ auta. Napravljeno je samo 6 ovakvih automobila, od kojih su samo dva ostala sačuvana, jedan u vlasništvu kompanije Merceds-Benz, a drugi u garaži jednog auto kolekcionara iz Amerike. Više od pola veka kasnije, tačnije 1961. godine, konstruisan je prvi agregat sa aluminijumskim blokom motora, *Buick 215.* Bio je zapremine 3.5 L i imao je 150 Ks po prvim merenjima. Nastao je kao rezultat desetogodišnjeg planiranja i sa masom od 144 kg predstavljao je *najlakši V8 motor* koji je ušao u serijsku proizvodnju.



Slika 1. Blitzen Benz (1909. godina)

Početkom 1970. godine započinje svetska energetska kriza, koja je svoju kulminaciju imala 1973. i 1974. godine, kada je *Organizacija arapskih zemalja izvoznica nafte (OAPEC)* uvela embargo, koji je doveo do rariteta nafte i ogromnih cena iste. Proizvođači automobila morali su da nađu efektivne mere smanjenja potrošnje goriva, pa se u tom periodu pored aluminijuma pristupa i drugim kompozitnim materijalima, koristeći legure magnezijuma, titanijuma, bakra, cinka, kao i pravljenje novih vrsta plastika i guma.



Slika 1. Audi A8 (1994. godina)

Prvi automobil koji je imao celokupnu karoseriju napravljenu od aluminijuma bio je *Audi A8* iz 1994. godine, koji je zabeležio smannjenje mase auta od čitavih 240 kg, iako je automobil bio povećan u dimenzijama za gotovo 10%! Audi je nastavio sa ulaganjem novca u razvoj aluminijumskih karoserija i šasija, pa je kasnije nastao model A2, mali gradski auto koji je predstavljen 1998. godine, da bi 2000. dobio evropsku nagradu „Aluminijum“. Nagrada je dodeljena za inovativan dizajn i uspešno realizovano smanjenje mase karoserije za čitavih 43% u odnosu na čeličnu konstrukciju, te je lagani auto od 855

kg uparen za trocilindričnim dizel agregatom zapremine 1200cm^3 imao izmerenu gradsku potrošnju od samo 3 L/100km, a prosečnu od 2.65 L/100km, što je prvi put u istoriji ostvareno. Audi i dalje ulaže velike količine novca u razvijanje alternativnih materijala, pogotovu aluminijuma, ali pre svega u kombinaciji sa čelikom i gvožćem, gde se aluminijum koristi u motornim blokovima i velikom broju delova, ali ne i za same šasije i karoserije.Pravljenje karoserija od aluminijuma je jako skupo, pa je maleni audi A2 imao cenu za 60-70% veću od svojih rivala. Do 2005. godine proizvedeno je i prodato samo 176.377 vozila. Veliki broj kompanija u auto industriji prihvatilo je trend smanjenja mase i ulaganja u kompozitne materijale, a noričito u aluminijum i ugljenična vlakna. Ugljenična vlakna trenutno predstavlju najskuplji oblik smanjenja mase ali povećanja čvsrtine šasije i karoserije automobila čak do nekoliko puta. Početak upotrebe ugljeničnih vlakana vezuje se za 1800. godinu i Tomasa Edisona, koji ih je koristio za odvođenje toplote na sijalicama, dok su ugljenična vlakna velike čvrstoće, materijal koji se danas koristi prilikom konstruisanja automobila, pronađen tek u kasnim 1950. godinama. Početkom 1960. godine, ugljenična vlakna počinju da imaju pravu komercijalnu upotrebu, mahom u avioindustriji, zbog kojeg su letelice bile brže, lakše i daleko otpornije na pregrevanje i požare. Narednih 30 godina ugljenična vlakna uglavnom se koriste od strane ministarstava za odbranu SAD-a i Rusije, zatim u američkom NASCAR-u i u Formuli 1, kao sličnim skupim autosportovima.



Slika 2. Aluminijumska karoserija, Audi A2

Tek nakon 2000. godine počinje prava potražnja za ovim materijalom u auto-industriji, jer iako skup, njegovom primenom mogu se postići efekti kakvi nisu mogući niti sa jednim trenutno poznatim materijalom. Zbog cene proizvodnje je trenutno i do petnaest puta veća od cene proizvodnje čelika, upotreba ugljeničnih vlakana ograničena je isključivo na sektor super i hiper sportskih automobila, koji će visoku cenu proizvodnje nadomestiti još većom cenom u prodaji, pa se ovakvi automobili mogu naći u rangu cena od 150.000 pa sve do više miliona €. Proteklih godina zabeležen je porast potražnje za ovim materijalom, pa se očekuje da će do 2017. godine upotreba ovog materijala u auto indistriji biti povećana za gotovo 17 %. Njegova cena polako pada, ali da bi se našla u širokoj, komercijalnoj upotrebi, potrebno je da bude 40 do 60 % niža, kako kažu ekonomi gigantskih auto kompanija. Da li će se ikada ovaj materijal naći kao standard kod, ne samo sportskih i luksuznih automobila, već i automobila za „široke mase“, pitanje je na koje će samo vreme dati odgovor.



Slika 3. Lamborghini Aventador, šasija od ugljeničnih vlakana

4. UTICAJ MASE NA VOZNE KARAKTERISTIKE

Problem mase automobila i njen uticaj na vozne karakteristike biće razloženi na nekoliko segmenata, kako bi iz što većeg broja uglova bio sagledan problem i kako bi na najefikasniji način odredili u kojoj meri, zapravo, masa automobila utiče na entitete kao što su *ubrzanje, kočenje i upravljivost*, izuzimajući najveću brzinu, jer masa na nju utiče tek neznatno, dok su glavni faktori za nju trenje, inercija, otpor vazduha i snaga autmobila, te se o ovom entitetu neće govoriti u ovom radu.

Prva pomisao većine stanovništva pri pominjanju reči kao što su *ubrzanje, upravljivost i kočenje,* odnosi se na neki od sportskih automobila, na velike performanse, oblak dima i škripu guma, i biće u pravu, jer se najbolje na takvim modelima može demonstrirati u kojoj meri masa auta može pokvariti prolazno vreme na drag trkama ili klasično ubrzanje 0-100 km/h, ponašanje u krivanama, kao i zaustavni trag. Međutim, iako će neki sportski modeli biti iskorišćeni kao benčmark i dokaz, u ovom radu akcenat će biti na putničkim, lako dostupnim vozilima, prevashodno segmenata A, B, C i D jer oni predstavljaju preko 70 % registrovanih vozila u Evropi, godinu za godinom[1]. Doduše, ovaj sektor vozila predstavlja najdostupniju metu, najjeftinije automobile, pa je najmanje verovatno da će se na ovim modelima događati bitnije promene po pitanju mase, jer je smanjenje mase skupo. U ovom trenutku, nažalost, smanjenje mase najbolje bi moglo da se odrazi na segment luksuznih vozila i SUV vozila, jer oni zauzimaju položaj koji nije za potcenjivanje na tržištu, a nude veliki izbor dodatne opreme, pa se mora voditi računa o ekologiji i perforansama. *Smanjenje mase automobila bi, naprotiv, trebalo biti standard, a ne luksuz.*

4.1 UTICAJ MASE NA UBRZANJE

4.1.1 UOPŠTENO

Opšte je poznata činjenica da svaki proizvođač sportskih vozila na prvo ili drugo mesto po bitnosti stavlja ubrzanje ili upravljivost. Jedan kompletan sportski automobil nikako se ne može zamisliti bez dobrog oslanjanja i dobrog ubrzanja, za šta je zaslužna kombinacija jakog agregata i male mase, tj. odnos snage i mase.

Sa druge strane, deo koji se tiče ubrzanja a relavantan je za ovaj rad, odnosi se na poboljšanje ubrzanja kod putničkih vozila putem smanjenja mase, jer od toga direktno zavisi kako kvalitet vožnje, primer startnosti u gradskoj vožnji, tako i bitnija bezbednost u smilsu lakšeg i sigurnijeg uključivanja na autoput, lakšeg postizanja željene brzine, kao i lakše preticanje na magistralnim i drugim putevima.

[1] Ana Salome Avelas Ferreira Pinto**:** *Evolution of weight, fuel consumptopn and CO_2 of autimobiles*

4.1.2 ANALIZA

Analiza će biti započeta jednim veoma zanimljivim primerom sa polja sportskih automobila. *Bugatti Veyron Super Sport* (*slika 5*), auto vredan oko 2.000.000 €, sa 1.200 Ks i masom od ***1.888 kg***, ima ubrzanje 0-100 km/h za tričavih **2.5 sekundi,** i odnos snage i mase od **635 Ks/t,** dok *Ariel Atom V8*, auto vredan 120.000 €, snage 500 Ks i mase od samo ***610 Kg,*** ima ubrzanje od **2.3 sekunde,** dakle bolje ubrzanje od svog skupljeg protivnika, isklju-čivo jer ima odnos snage i mase od **817 Ks/t,** što bi značilo da Ariel Atom zbog svoje male mase može staviti daleko manji agregat i biti daleko jeftiniji a pružati isto zadovoljstvo u vožnji. Ali Bugatti nije klasičan sportski auto, jer poseduje bogatu dodatnu opremu, kožna sedišta, automatski klima uređaj, kombinaciju šavova i boji kože, radio uređaj, dok većina pravih sportskih kompanija se trudi da održi masu auta daleko ispod 1.500 kg, i zato postoji pravilo, što je skuplji sportski auto, to ima manje opreme. Ariel Atom (*slika 6)*, sa druge strane, nema prozora, niti vrata, nema klime niti radio uređaja, sve u cilju totalnog smanjenja mase, i ova mašina je napravljena sa ciljem da ide što brže od krivine do krivine, pružajući do sada neviđen osećaj u vožnji, nešto najbliže trkačkom F1 bolidu što se može naći na drumu.



Slika 5. Bugatti Veyron Super Sport



Slika 6. Ariel Atom V8

Sa naučnog gledišta, može se upotrebti jedna prosta, fizička formula:

$$\mathbf{F = m \cdot a}$$

gde je **F** neka sila koja deluje, **m** masa nekog objekta na koji deluje ta sila, **a** ubrzanje koje taj objekat ima. Izvođenjem dobijamo novu formulu :

$$\mathbf{a} = \left(\frac{1}{m}\right) \cdot \mathbf{F}$$

iz koje se može videti da je masa u obrnutoj srazmeri u odnosu na ubrzanje, što bi značilo da pri svakom povećanju mase dolazi do smanjenja ubrzanja.

Obzirom da između obrtnog momenta (jedinica pri opisivanju snage motora, „vučna sila“), koji se izražava u Nm (Njutn metar) i sile F koja se izražava u N (Njutn), ne postoji direktna veza, jer sila predstavlja neko delovanje pri pravolinijskom kretanju, dok

je kod Nm u pitanju rotaciono kretanje, pa ćemo za primer uzeti neku fiktivnu silu od 10.000 N i neku fiktivnu masu auta od 1.000 kg , koju ćemo i menjati kroz primer :

1) $\mathbf{a} = \left(\frac{1}{m}\right) \cdot \mathbf{F} = \left(\frac{1}{1000kg}\right) \cdot 10000\ \mathbf{N} = \left(\frac{1}{1000kg}\right) \cdot 10000\ \frac{kg \cdot m}{s2} =$

$= 10\ \frac{m}{s2}$

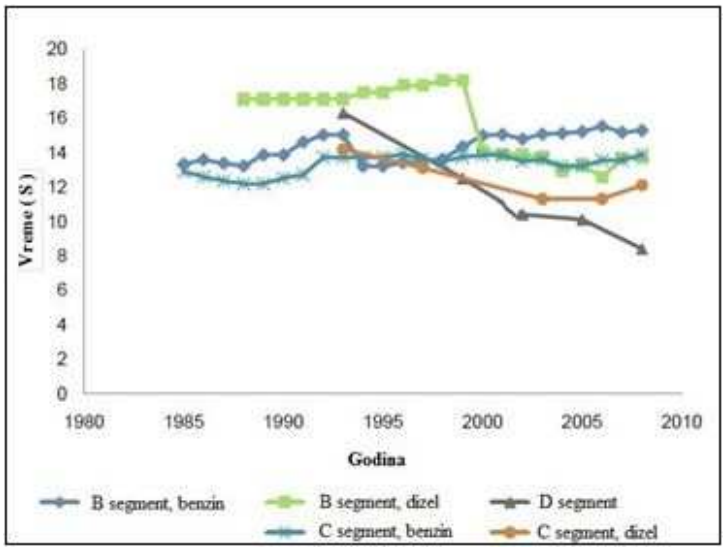
2) $\mathbf{a} = \left(\frac{1}{m}\right) \cdot \mathbf{F} = \left(\frac{1}{1200kg}\right) \cdot 10000\ \mathbf{N} = \left(\frac{1}{1200kg}\right) \cdot 10000\ \frac{kg \cdot m}{s2} =$

$= 8.33\ \frac{m}{s2}$

Dakle na ovom primeru možemo direktno videti proporcionalnost zavisnosti ubrzanja vozila i njegove mase.

4.1.3 SUMIRANJE

Na *grafiku 1* može se jasno videti da je prosečno ubrzanje 0-100 km/h u proteklih 30 godina, govoreći o vozilima B, C i D segmenta, smanjeno prilično, pogotovu u D segmentu, iako veći deo zasluge ide na veću snagu motora, a ne na smanjenje mase. Ubrzanje bi trebalo biti što manje, ali umesto povećanja snage agregata, treba raditi na redukciji mase, jer to vodi ka „**downsizing**“[2] – u, drugačije „**opštem smanjenju**“, što bi značilo da ukoliko je potrebno ubrzanje vozila održati konstantnim, smanjenjem mase auta može se slobodno smanjiti i zapremina agregata, njegova snaga, menjač, donji postroj, pogonske osovine, što opet znači da se može napraviti još veća ušteda u masi, koja dalje može opet voditi ka novim uštedama i tako u krug.



Grafik 1. Prosečno ubrzanje u proteklih 30 godina

Ubrzanje je bitna stavka i masa je obrnuto proporcionalna njoj, te se mora voditi računa o tome, pogotovu na slabijim agregatima, gde 50 kg manje mase može biti itekako osetno.

[2] Lynette Cheah, Christopher Evans, Anup Bandivadekar & John Heywood: *Factor of Two: Halving the Fuel Consumption of New U.S. Automobiles by 2035*

4.2 UTICAJ MASE NA ZAUSTAVLJANJE

4.2.1 UOPŠTENO

Kočenje je veoma važan element svakog automobila, ali njegova bitnost ogleda se u različitim aspektima. Naime, dobre, velike i izdržive kočnice od krucijalnog su značaja za obezbeđivanje kratkog zaustavnog traga kod sportskih automobila, kako bi automobili mogli što kasnije da koče, i na taj način obezbede bolje prolazno vreme. Kod putničkih automobila, dobre kočnice znače takođe kraći zaustavni trag i samim tim izbegavanje potencijalnih udesa i nezgoda, dakle generalno povećanje bezbednosti. Kočnice su element koji zaustavljaju rotaciju točka i smanjuju kinetičku energiju koju nosi automobil, a da bi se auto potpuno zaustavio pored te vrednosti bitno je pomenuti i silu trenja, statičkog ukoliko se točkovi nakon pritiskanja papučice i dalje okreću, i dinamičkog, ukoliko se točkovi ne rotiraju, tj „zaključaju“ . Masa auta ne utiče direktno na zaustavni trag, u smislu da 2 puta veća masa neće značiti 2 puta veći zaustavni trag, ali, kao što će biti objašnjeno u delu *analiza*, itakako utiče.

4.2.2 ANALIZA

Postoje velike debate oko toga u kojoj meri masa auta zapravo utiče na zaustavni put, odnosno samo kočenje, jer se ovde ne mogu uzeti samo grube vrednosti brzine, mase i sile trenja, jer postoje velike raznolikosti koje se mogu uočiti kod automobila, u smislu različite raspodele mase, različitih obima točkova, prečnika guma, dodirnih površina sa asfaltom, šara na gumama, dimenzija kočionih klješta, njihov stisak i veliki broj dugih parametra. Jedan od većih problema je taj, da se za primere koji se tiču zaustavnog traga uzima konstanto negativno ubrzanje, tj. usporenje, koje je u praksi teško izvodljivo[3].

Iz tog razloga u ovom delu biće iskorišćena formula izračunavanja kinetičke energije koju telo ima prilikom kretanja, kojom bi se dokazala razliku u kinetičkoj energiji koju nose dva vozila koja se kreću istom brzinom a imaju različite mase.

$$\mathbf{E_k} = \frac{1}{2} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{v}^2$$

gde je $\mathbf{E_k}$ kinetička energija koju ima vozilo, **m** je masa vozila a **v** brzina vozila,

iz koje se može zaključiti da veći efekat na kinetičku energiju ima brzina vozila, jer se kvadrira, ali će na sledećim primerima biće objašnjeno i kakav uticaj ima masa.

Uzet je primer 2 vozila koja se kreću identičnom brzinom od ***100 km/h (27,78 m/s)***, jedno vozilo mase ***1500 kg***, drugo ***1250 kg***.

[3] Don Nardo, Steven Shropshire: *Kinetic Energy: The Energy of Motion*

1) $E_k = \frac{1}{2} \cdot 1500\ kg \cdot (27{,}78\ m/s)^2 = 750\ kg \cdot 771{,}6\ m^2/s^2 =$

$E_k = 578703{,}7\ \frac{kg \cdot m^2}{s^2} =$

E_k = 578703.7 J (Energija potrebna za zaustavljanje vozila mase 1500 kg)

2) $E_k = \frac{1}{2} \cdot 1250\ kg \cdot (27{,}78\ m/s)^2 = 625\ kg \cdot 771{,}6\ m^2/s^2 =$

$E_k = 482250\ \frac{kg \cdot m^2}{s^2} =$

E_k = 482250 J (Energija potrebna za zaustavljanje vozila mase 1250 kg)

Dakle, energija koja je potrebna za zaustavljanje vozila mase 1250 kg, koje se kreće brzinom od 100 km/h, manja je približno za 100.000 J (100 kJ) od vozila koji se kreće istom brzinom, mase 1500 kg.

4.2.3 SUMIRANJE



Slika 4. Usijani kočioni diskovi , bolid formule 1

Prilikom kočenja automobila stvara se velika količina toplote koja, tokom dužeg izlaganja, može dovesti do slabijeg hvata kočionih kliješta i do eventualnog totalnog otkaza, što bi u prilog išlo rezultatu iz dela analiza. Naime, objašnjeno je da je ***potrebno manje energije za zaustavljanje automobila manje mase***[4]**,** što bi, pored teoretski zaustavnog puta, moglo imati i veći efekat na kontinuirani efikasni rad kočnica, dakle manje energije je potrebno, manje toplote se stvara, auto se bolje zaustavlja a kočnice traju mnogo duže, što je posebno bitno kod trkačkih automobila, jer se kočnice koriste na maksimumu sve vreme i od krucijalne je važnosti da kočnice istraju celu trku i da obezbede kvalitetno zaustavljanje vozila pri maksimalnom korišćenju.

Za putnička vozila bitna je slična stvar, dakle blaži pritisak na paučicu je dovoljan, u kritičnim uslovima smanjuje zustavni put, i sa finasijskog aspekta obezbeđuje duže trajanje vaših kočnica, vršeći manji pritisak na njih.

4.3 UTICAJ MASE NA UPRAVLJIVOST

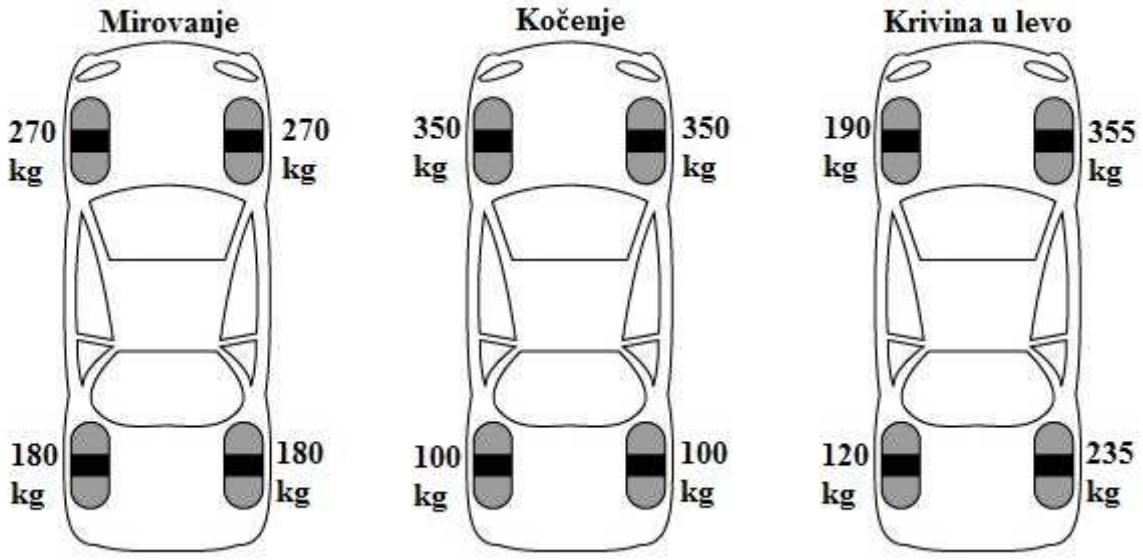
4.3.1 UOPŠTENO

[4] Sanjay Patel, Aloke Prasad, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA): *Recent Test Program on Vehicle Compatibility*

Upravljivost (engl. handling), veoma je bitna stavka u autmobilskoj industriji koja se svakodnevno razvija i dopunjuje. Nju karakterišu brojni elementi, kao što su dužina, visina vozila, bočno ubrzanje, visina težišta, obim, širina i debljina pneumatika i jednako bitno, ***masa vozila i njena raspodela***[5]**.** Uloga upravljivosti, kod sportskih automobila, ogleda se u sposobnosti automobila da budu odlučniji u naglom menjanju pravca, uz što manje ljuljanje karoserije, podupravljanje i korigovanje volanom, kako bi se obezbedilo što preciznije skretenja i na kraju što bolje prolazno vreme. Kod gradskih automobila, upravljivost se odražava kako na što lakšu vožnju i lakše menjanje pravca i stanja automobila, tako i na bezbednost, jer u nekim trenucima dobro upravljanje i brza reakcija vozila može pretstavljati razliku između života i smrti.

4.3.2 ANALIZA

Kada se govori o upravljivosti i skretanju automobila, mera koja je najbitnija u praksi i koja to može najbolje opisati je ***transfer mase.*** Kada se govori o transferu mase, najčešće se misli na pomeranje tačke težišta auta u zavisnosti od krivine u kojoj se nalazi, i vršenje različitog pritiska na sva četiri pneumatika. Težište auta se može pomerati u svim osama u odnosu na prvobitno težište (težište koje auto ima dok kreće ravnomerno pravolinijski ili eventualno stoji), pa se samim tim u zavisnosti od krivine u svakom trenutku može videti različito opterećenje na različitim točkovima. Ovo se najbolje može prikazati na sledećoj slici (*slika 8*) :



Slika 5. Raspodela mase po točkovima pri mirovanju, kočenju i krivini u levo

Primenjena je najuobičajnija raspodela mase kod putničkih automobila,*60% napred i 40% pozadi*, jer se veći deo mase nalazi u prednjem delu auta, gde se najčešće nalazi agregat, kao najmasivniji entitet. Na primeru *kočenja* auta, jasno se može videti kako se masa prebacuje, znatno više *opterećujući prednju osovinu* i oba prednja točka, dok na

[5] Don Nardo, Steven Shropshire**:** *Kinetic Energy: The energy of motion*

primeru *oštre krivine u levo* može se videti kako se masa auta prebacuje na desnu stranu auta, pogotovu na prednji *desni točak,* koji sam trpi skoro **40% ukupne mase vozila od 900 kg** !

Kao što je već rečeno, na transfer mase utiču brojni parametri, neki čak i bitniji, ali u ovom radu problematika se tiče uticaja mase na određene aspekte, pa će i ovoj analizi ona zauzeti anlizirano mesto .

Kako masa utiče na upravljivost može se videti na jednoj izvedenoj formuli :

$$\mathbf{Wd} = \frac{(\mathbf{la} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{cg})}{\mathbf{cw}};$$

gde je **Wd** raspodela mase, **la** bočno ubrzanje, **m** masa auta, **cg** visina težišta i **cw** najveća širina vozila, tj širina na zadnjoj osovini.

Kao primer iskoristi će se model *Toyota GT86,* automobil koji čija je visina težišta samo 45 cm i nalazi među tri automobila sa najnižim centrom gravitacije :

$$Wd = \frac{(0.85g \cdot 1200\,kg \cdot 450\,mm)}{1775 \cdot mm}$$

$$Wd = \frac{459000 \frac{m \cdot kg \cdot mm}{s2}}{1775\,mm}$$

$$Wd = 258{,}6\ \frac{kg \cdot m}{s2}$$

$$\mathbf{Wd = 258{,}6\ N\ (\frac{m \cdot kg}{s2})}$$

Napomena: la, *bočno ubrzanje od 0.85 g je* ***maksimalno bočno ubrzanje*** *koje može da postigne ovaj model*

U sledećem primeru biće iskorišćeni identični parametri, sa jedinom razlikom u **masi, koja će biti manja za 100kg:**

$$Wd = \frac{(0.85g \cdot 1100\,kg \cdot 450\,mm)}{1775 \cdot mm}$$

$$Wd = \frac{420750 \frac{m \cdot kg \cdot mm}{s2}}{1775\,mm}$$

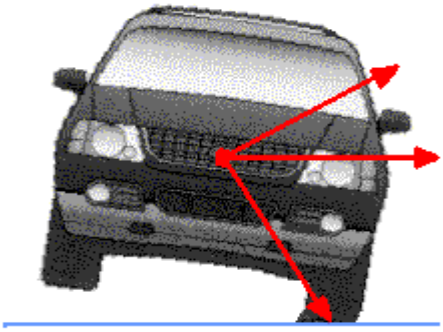
$$\mathbf{Wd = 237\ N\ (\frac{m \cdot kg}{s2})}$$

Wd predstavlja silu koja se stvara prilikom menjanja težišta auta, tj. prilikom transfera mase sa jednog točka na drugi, što bi značilo da vozilu sa manjom masom treba manje sile da napravi pomeranje težišta, što se manifestuje kraćim i bržim menjanjem, što je i bila polazna osnova koja je trebalo da bude dokazana, da auto treba lakše i brže menjati težište kako bi bio što precizniji i brži.

4.3.3 SUMIRANJE

U delu analiza, primenom formule na automobil marke Toyota GT86, ustanovljeno je da je vozilu sa manjom masom potrebno manje sile da efikasno promeni težište i da izvrši transfer mase, što je dobar pokazatelj kako masa utiče na ponašanje automobila u krivanama i na njegovu upravljivost. Kod sportskih automobila sa niskim težišnim tačkama, kao što je već pomenuta Toyota, gotovo je nemoguće postići prevrtanje automobila, jer će i točak koji je najrasterećeniji imati makar nekakav kontakt sa podlogom, dok kod putničkih vozila slučaj uglavnom nije takav.

Obzirom da se od putničkih automobila prvenstveno traži da budu udobni i imaju dosta komfora, nisko težište tu nije opcija. Nisko težište znači bolju povezanost sa tlom, ali i mnogo veću osetljivost putnika na sve što se dešava ispod auta, na neravnine i prepreke. Ovo se najbolje može videti na principu luksuznih SUV džipova koji imaju jako visoko težište[6] i velika međuosovinska rastojanja, koji rezultuju najvećom udobnošću među putničkim vozilima. Međutim, sve ovo u kombinaciji sa velikim brzinama predstavlja veliku opasnost od prevrtanja, sa kojom se veliki broj stanovništva svakodnevno susreće. Jedan od načina prevencije, ili barem smanjivanja takvih slučaja i njihovih posledica je upravo smanjenje mase vozila, ako već smanjenje težišta nije u opticaju. Transfer mase pretstavlja veoma bitan element sigurnosti vozila, efikasniji trasfer znači veću sigurnost.



Slika 6. SUV sa tendencijom ka prevrtanju

Ovim delom završeno je planirano objašnjavanje uticaja mase na vozne karakteristike auta, ubrzanje, kočenje i upravljivost, te će se u sledećem delu prvenstveno biti reči o uticaju mase auta na ekologiju, efikasnost i bezbednost.

[6] Tom Wenzel, Marc Ross: *The Weight Relationship between Vehicle Weight, Size and Safety*

5. UTICAJ MASE NA EFIKASNOST, EKOLOGIJU I BEZBEDNOST

U ovom poglavlju pažnja će biti posvećena uticaju mase vozila na različite aspetkte nama bitne, kako u svakodnevnici, tako i na dugoročnom planu. Gorivna efikasnost, uticaj vozila na ekologiju i bezbednost svih učesnika u saobraćaju su danas veoma raširene teme o kojims se vode brojne polemike, određuju se i postavljaju standardi, prate se, mere i upoređuju učinci godinama unazad i određuju se grube vrednosti ovih parametara za narednih 10, 15 godina. Najveće kompanije autoindustrije ulažu velike količine novca u istraživanje i razvoj ovih parametara, sa idejom o jednoj dobroj, globalnoj informisanosti i konfirmaciji, jer je krucijalni faktor ovog problema ljudsko razumevanje. Čovek sam sebi gradi i određuje prostor i način života, a u velikom broju slučaja ima direktan, negativan uticaj na svoju okolinu, te se stvaranjem određenog stava i kontrolisanjem svojih navika, na ne tako težak način, može mnogo doprineti opštem boljitku.

Međutim, da je stvar tako jednostavna, ne bi bilo preteranog zalaženja u ovakvu problematiku jer bi najverovatnije sve bilo dovedeno do normi koje odgovaraju apsolutno svima, što bi značilo da stvarno postoji ljudska jednakost i da ljudi misle na održivi razvoj, na budućnost, a ne samo na sadašnjost i vlastiti džep. U pitanju je celokupna automobilska industrija i veliki broj pomoćnih grana, dakle jedan veliki sektor privrede koji treba promeniti zarad opšteg boljitka, te se promene odvijaju lagano, u zavisnosti koliko to odgovara ili ne odgovara određenim gigantima, pa je neko poboljšanje nešto čemu se zasigurno treba nadati, ali na neodređen vremenski period.

Danas u svetu postoje javni podaci, svuda dostupni, o određenim količanama CO_2 koje motori ispuštaju, potrošnji goriva na 100 kilometara, broju zvezdica na testovima bezbednosti koji dobijaju svi novi automobili, ali te fabričke brojke se znatno razlikuju od brojki iz stvarnsoti, jer se koriste ne tako verodostojni uslovi, zanemaruju se bitni faktori koji direktno utiču na rezultate. Ali dokle god je pravna regulativu u pitanju, oni rade sve po propisima, jer su propisi unapred pogrešno definisani.

Eksperti ispituju i probalaze nove materijale, čisitje načine dobijanja energije, alternativne dizajnove i dimenzije, sve u cilju postizanja rezultata koji su dovoljno nižih od aktuelnih, da se mogu smatrati zadovoljavajućim. Međutim, razlog zbog kog se nikome ne žuri i što ta istraživanja jesu tako skupa, je upravo nafta, jedan od najvrednijih resursa, kojeg više nema u ogromnim količinama, ali ipak u dovoljnim da „vuče konce“ u autoindustriji narednih 20, 25 godina. Kada se jednog dana iscrpe i poslednje rezerve, čovek će samo javno promovisati nove načine dobijanja energije koji već postoje, ali su u njenoj senci. Na nama je samo da se nadamo da situacija nastala u svetu prekomernim eksploatisanjem nafte *ne bude nepopravljiva*.

Kroz sledeće poglavlje biće ukazano na urgentnost smanjenja mase automobila na primerima energetske efikasnosti, uticaja na ekologiju i opšte bezbednosti u saobraćaju.

5.1 UTICAJ MASE NA ENERGETSKU EFIKASNOST

5.1.1 UOPŠTENO

Termin energetska efikasnost se u automobilskoj industriji, u današnje vreme, svodi na merenje potrošnje automobila na 100 km, metričkim sistemom merenja, ili pređenim miljama sa galonom goriva, po imperijalnom sistemu merenja. U ovom radu biće korišćen metrički sistem, dakle u potrošenim litrima nekog goriva na 100 pređenih kilometara. Postoji manji broj vozila koji za pogon imaju neki drugi oblik energije, npr. struju, dobijenu različitim oblicima konverzije, gorivne ćelije[7], vodonik ili neki drug vid alternative fosilnim gorivima, čija se efikasnost meri autonomijom (maksimalnim pređenim putem sa jednim punjenjem).

Veliki broj ljudi svakodnevno koristi svoje automobile, a tek jedan delić se zapita koliki su zapravo troškovi goriva za jedan prosečan životni vek auta i u kojoj meri se oni mogu smanjiti. Potrošnja manja u proseku za 1 L/100km može ušetedeti oko 1.500 € na svakih 100.000 pređenih kilometara, što predstavlja *15 % manje troškova* za auto prosečne potrošnje B ili C segmenta. Znači govori se samo o potrošnji manjoj za 1 litar goriva, nešto što se može postići prostim korigovanjem vožnje, blagovremenim kočenjem, ravnomernim ubrzanjima i pravovremenim menjanjem brzina, gašenjem klima uređaja ako nam nije potreban, itd.. Jedan od načina smanjenja potrošnje, za koji ljudi danas ne mare previše upravo je redukcija viška mase na vašem autu. Krovni nosači sa koferom, gomilanje bespotrebnih predmeta na zadnjoj klupi ili prtljažniku, prevoženje teškog tereta i velikog broja ljudi, razlog su veće potrošnje vašeg limenog ljubimca. Ovde će samo biti pomenut potencijal koji masa ima za povećanje energetske efikasnosti, dok će u delu anliza biti detaljnije objašnjeno.



Slika 7. Maserati koncept auto

Postoje određena verovanja, koja su potkrepljena sve strožim propisima, da bi do 2035. godine, prosečna potrošnja fosilnih goriva na 100 km trebalo biti prepolovljena, što je nemoguće bez novog koncipiranja izgleda, dimenzija, oblika automobila, kako bi se stvorio što manji otpor vazduha, ali i potpuno novim inženje-ringom i upotrebom novih materijala boljih karakteristika, ali daleko manje mase. Naravno pored redizajniranja samih vozila, dimenzija i mase kao primarnog cilja, neophodna je i rekonstrukcija samih agregata, kako bi se trenutak potpunog prelaska na alternativne vidove energije za nijansu odaljio, usled štedljivije potrošnje nafte.

[7] Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Ali Emadi: *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles*

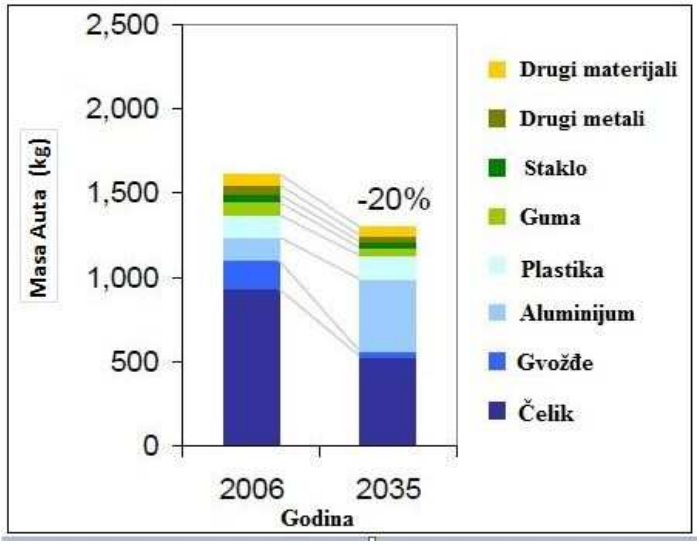
5.1.2 ANALIZA

Svaki automobil ima karakterističnu konfiguraciju. Različiti su oblici automobila, dimenzije, aerodinamičnost, visina težišta, menjački sklop, motor, masa itd.. Svi ovi elementi, na ovaj ili onaj način, utiču na performarnse auta, njegovo ponašanje u vožnji, udobnost, bezbednost, potrošnju, količinu ispuštenih štetnih gasova.. U ovom delu akcenat će biti na načinu na koji masa auta utiče na efikasnost motora, odnosno na njegovu potrošnju, entitet bitan kako za naš budžet, tako i za ekologiju jer je veoma usko povezan za emisijom štetnih gasova.

Postoje brojni priručnici i knjige o tome kako možete generalno smanjiti potrošnju vašeg auta, sa velikim brojem saveta i dokaza, i najveći deo te literature stavlja na prvo mesto lični stil vožnje, dakle blagovremeno menjanje brzina, izbegavanje velikih brzina, održavanje distance i sa što manjom upotrebom kočnica, jednom rečju, umerenost. Na drugom mestu je *uklanjanje viška mase auta*, gde god je to moguće. Bespotrebni višak tereta koji stoji dugo u vašem autu, veliki broj osoba koji se prevozi i krovni nosači sa koferima mogu itekako uticati na motornu efikasnost.

Svakih 100 kg viška tereta u vašem vozilu mogu dodati 0.3 L/100 km, što možda i ne zvuči puno, ali pet osoba prosečne težine 75 kg i prtljažnik pun vaših stvari mogu povećati potrošnju za čitavih 1.5 L/100km[8], što je za neko duže putovanje i više nego veliko povećanje. Ako, recimo, radite na gradilištu i imate svakodnevno pun prtljažni prostor raznoraznih objekata i stalno vozite svoje kolege do posla ili nazad, za najkraći garantni period novog vozila u Srbiji od 100.000 km, možete platiti i do 1.500 € više.

Iako je evidentan način na koji masa u današnje vreme utiče na potrošnju, ovaj rad se ipak bazira na budućnost, dakle na potrebu drstičnog smanjnja mase novih i budućih automobila, koja za sobom povlači „**downsizing“**. Bukvalno prevedeno znači „smanjenje“, a odnosi se na smanjivanje spoljnih dimenzija automobila, smanjenje zapremina agregata potrebnih za pokretnje vozila, sa dodacima turbopunjača, kao i potpuno nov pristup izrade karoserija i upotrebe materijala. Smanjenje mase na koje ciljaju, kako čelnici velikih automobilskih brendova, tako i aktivisti i ljudi koji su svoj život posvetili zaštiti planete Zemlje, je *smanjenje od 20-30% i sveukupno prepolovljenu potrošnju svakog novog vozila uz manje emisiju štetnih gasova za gotovo 70 %.* Na *grafiku 2* jasno se može videti način na koji je planirano smanjenje upotrebe čelika i gvožđa, dok je planirana količina upotrebljenog aluminijuma, metala manje mase a veće čvrstine, neuporedivo veća.



Grafik 2. Očekivano smanjenje mase do 2035. godine

[8] James D. Halderman**:** *Automotive Fuel and Emissions Control System*

Ovaj grafik i ovaj primer odnose se na prosečan automobil opremeljen benzinskim ili dizel agregatima, i tu se javlja problem automobila na hibridni i električni pogon. Baterije koje koriste električni autmobili imaju veoma veliku masu, zbog nedovoljnog ulaganja u ovaj vid pogona. Teoretski, ti automobili troše samo struju i nemaju nikakvih štetnih emisija, međutim u stvarnosti je to malo drugačije. Za proizvodnja tih baterija, njihovo skladištenje i recikliranje nakon upotrebe, potrebne su velike fabrike koje koriste različite toksične ulaze i izlaze, tako da fabrike prave veća zagađenja od onih koji bi pravili sami automobili. Da ne pominjemo činjenicu da, kako u većini nerazvijenih zemalja, tako i u Srbiji, veliki deo proizvedene električne energije dolazi sagorevanjem nekog vida foslnih goriva, fabrike koje su smatrane najvećim neprijateljima ekologije. Samo reklamiranje tih automobila i isticanje njihovih ekoloških prednosti je „šarena laža“, nešto u šta većina ljudi bezuslovno veruje. Više o ovom i sličnim problemima biće objašnjeno kasnije u delu uticaj mase na emisiju štetnih gasova, međutim ovde je bitno pomenuti da se masa ovih vozila ne može drastično smanjiti, zbog komplikovanih i teških baterija, osim ako se nešto radikalno ne preduzme, što košta dosta novca, kojeg nema na pretek i koji je okrenut nekim za budućnost boljim rešenjima, kao što su gorivne ćelije, no i o tome nešto više kasnije.
Dakle, po razmišljanjima i studijama velikih umova iz različitih oblasti nauke, zbog nemogućnosti smanjenja mase i povećanja autonomije, kao i ironično velikom uticaju na ekologiju, automobili na čist električni pogon ne smatraju se našom budućnošću. Budućnost leži u evoluciji gorivnih ćelija i vodoniku kao gorivo, sa eventualnom kombinacijom elektromotora[9].

U kojoj meri masa automobila utiče na potrošnju goriva može se najbolje videti na primeru jednog agregata, koji se u identičnom obliku (dimenzije, težina, snaga i obrtni moment), ugrađuje u više serijskih automobila iste kompanije. Direktnim poređenjem njihovih masa i efikasnosti može se doći do najrealnijeg podatka na koji način masa zapravo utiče na potrošnju goriva.Kao primer uzećemo jedan od novijih motora kompanije Ford, i radi se o benzinskom trocilindričnom motoru zapremine 1.0 L, snage 100 Ks, koji se serijski ugrađuje u tri vozila, od kojih ćemo porediti dva.



Slika 8. 1.0 L Ecoboost motor, FORD

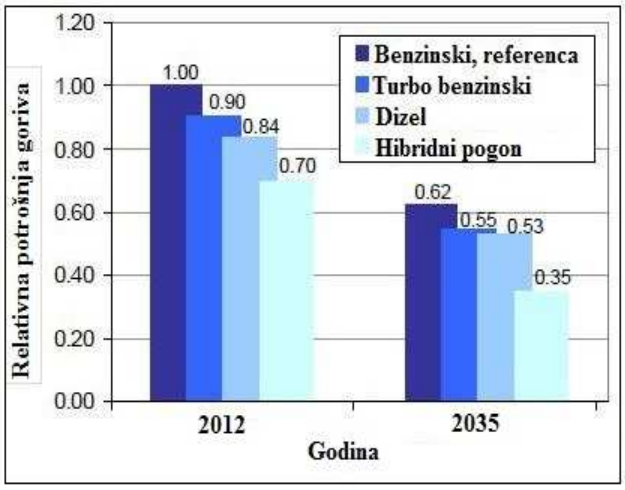
Automobil *Ford Fiesta 2013,* mase sa ovim agregatom od *1.091 kg,* i *Ford Focus 2013,* mase *1.312 kg* sa istim agregatom. Prosečna potrošnja *220 kg težeg Ford Focus-a* je **4.8 L/100km** kombinovane vožnje, dok je kod Fieste izmereno **4.3 L/100km** , što je za celih **0.5 L/100km** manje, što potvrđuje prethodno iznešen podatak da na ***svakih 100 kg manje mase može se zabležiti za 0.3 L/100km manja potrošnja.*** Takođe je zabležena i manja emisija štetnog CO_2 gasa (**99 g/km naspram 109 g/km**).

[9] Kromer, M. A. and J. B. Heywood: Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet

Sa emisijom CO_2 manjom od 100g/km, vozači ovakve Ford Fieste mogu slobodno da prođu kroz centar Londona u bilo kom trenutku ne razmišljajući o 10£ koje svakodnevno većina stanovnika ovog grada mora da plati zbog „London congestion charge“, tj. doplate za zakrčenje (gužve) u Londonu, dok u Srbiji ovakva emisija znači državnu subvenciju od 100.000 dinara, jer se takav auto smatra *„zelenim automobilom“*.

5.1.3 SUMIRANJE

U delu analiza objašnjen je način na koji masa automobila utiče na energetsku efikasnost agregata, i ukazano je na svetsku tendenciju ka opštem smanjenju putničkih automobila, kako po pitanju deimenzija, tako i mase i smanjenja zapremine agregata. Na *grafiku 4* može se videti očekivana prognozirana relativna potrošnja, gde je kao referenca uzeta sadašnja potrošnja atmosferskih, benzinskih agregata sa nekom vrednošću 1. U poređenju sa atmosferskim benzinskim ageregatom, hibridni pogon beleži u 2012. godini čak za 30% manju vrednost. Za 2035. godinu, nakon totalnog *downsizing-a*, vrednost potrošnje atmosferskih benzinskih agregata trebalo bi biti niže od sadašnjih vrednosti hibridnog pogona, dok će hibridni pogon u budućnosti imati čak 50% manju vrednost od sadašnjeg hibridnog pogona, tj. predstavljaće ukupno 35% vrednosti koju trenutno ima referentni benzinski atmosferski agregat. ***Ovo bi bio krajnji rezultat drastičnog smanjenja mase, tj „downsizing“-a[10].***



Grafik 3. Predviđena relativna potrošnja

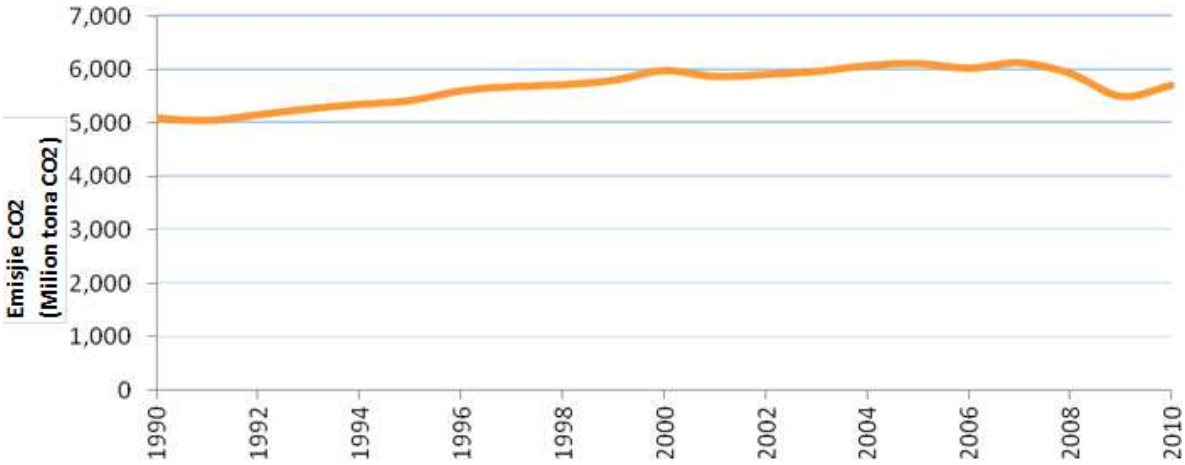
Ukoliko ne želite da vaš automobil stavljate na dijetu, ukoliko vas ne zanima na koji način možete smanjiti težinu vašeg auta i zbog čega, onda možete pri kupovini novog auta obratiti pažnju na neke stvari. Treba proveriti da li je šasija napravljena od aluminijuma, treba proveriti takođe katalošku masu auta. Birati agregate manje radne zapremine, sa turbopunjačem ili bez, proveriti jačinu motora i veoma bitno, a kod nas veoma nezastupljeno, podatak o emisji CO_2. U nekim zemljama ovo je podatak koji se stavlja na prvo mesto, od kog zavisi i cena registracija i uopšte mogućnost registracije. U Srbiji stanje je takvo da za svaki automobil čija emisija ne premašuje brojku od 100 g/km, dobija se subvencija od 100.000, svrstavajući vaš automobil u „zelene automobile“. Ovo je jedan od praktičnih saveta kako nesvesno, kupovinom automobila male mase, možete dati pozitivan doprinos problemu koji se nalazi u veoma ozbiljnoj, kritičnoj situaciji.

11 Lynette Cheah, Christopher Evans, Anup Bandivadekar & John Heywood : *Factor of Two: Halving the Fuel Consumption of New U.S. Automobiles by 2035*

5.2 UTICAJ MASE NA EKOLOGIJU

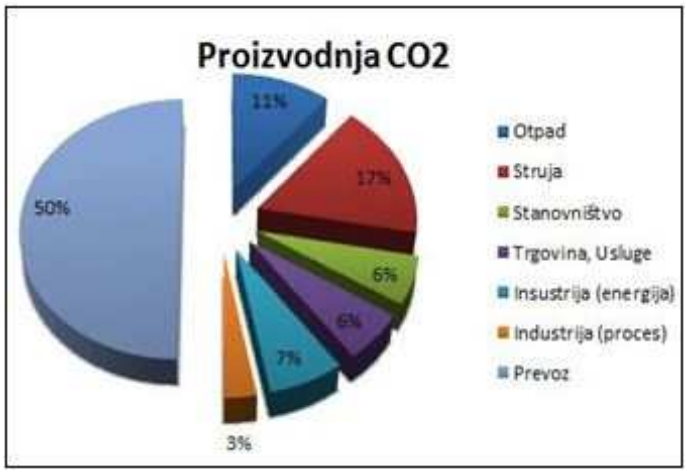
5.2.1 UOPŠTENO

Jedan od najvećih problema sa kojim se trenutno planeta Zemlja suočava, upravo je pojava globalnog zagrevanja uzrokovana prevelikom koncentracijom CO_2 u atmosferi. Temperature su u rastu, lagano se otapaju polarne kape sa mogućim ubrzanim tempom jer se pored celokupne svesnosti o štetnosti ovog gasa, i dalje svake godine beleže velike cifre o količinama ispuštenih CO_2 u atmosferu. Veliki broj kontraefekata prati globalno zagrevanje, kao što su promene mikroklima, menjanje reljefa, podizanje nivoa mora, zatim uticaj na celokupni životinjski i biljni svet, dok se o uticaju na čoveka ne sme ni govoriti, jer bi ovaj rad poprimio drugi tok.



Grafik 4. Proizvodnja CO2 u milionima tona

Na *grafiku 4* može se videti progres emisije CO_2 kroz niz od 20 godina, gde je kriva u stalnom porastu od 1990. do 2008. kada su po prvi put preuzete ozbiljnije mere praćenja ovih omisija, pogotovu u razvijenim evropskim zemljama. Međutim, podatak na kraju grafika kaže da je emisija ponovo u porastu i ukoliko se ne preduzme nešto radiklano, posledice mogu biti fatalne. Na *grafiku 5* može se videti procenat u kom smo mi zaslužni za takvo stanje, vozeći svakog dana naše automobile na fosilno gorivo. *Polovina svetskog zagađenja dolazi upravo iz sektora prevoza i transporta*, te je ovaj sektor dobro polazno mesto za započinjanje rigoroznije mere smanjenja emisije CO_2 kako transportnih tako i putničkih vozila. Dakle, direktnim smanjenjem emisije gasova svakom vozilu, može se direktno uticati na količinu oslobođenog CO2 u atmosferu, kao kontramera, barem dok se ne izbace iz upotrebe fosilna goriva, ili dok ih ne nestane u potpunosti.



Grafik 5. Proizvodnja CO2 po sektorima

Jedan od načina smanjenja emisije je ranije pomenuti *„**downsizing**“*, gde se očekuje da se pored smanjenja potrošnje do 50%[11], treba očekivati smanjnja emisije za 70%! Znači smanjenjem mase vašeg vozila, lakšim, modernijim, ali i skupljim materijalima, možete uticati na regulaciju nivoa CO_2 u atmosferi i ublažavanja efekta globalnog zagrevanja. Naravno, pored ovog gasa, iz cevi naših auspuha dolazi još puno štetnih gasova, od kojih neki i direktno otrovni. Od gasa CO i još štetnijih, NO_x gasova, umire se gušenjem. Takođe poznata je i pojava isparivih organskih jedinjenja koji reagujući sa Suncem, stvaraju *ozon*, tj. nama poznatiji ***smog***[12]. Ozon je dobra stvar u visokim slojevima atmosfere jer čuva površinu naše planete od štetnih infracrvenih i ultračjubičastih zračenja, dok blizu površine izaziva disajne tegobe, kašalj, gušenje, kao i za *500 mil. $ /godišnje manje prihoda od poljoprivrede u Americi samo*.

5.2.2 ANALIZA

Pošto se ugljen dioksid smatra trenutno najštetnijim gasom koji je nusprodukt naših automobila, jer on ima dugoročniji uticaj i ima globalne razmere, u ovom delu biće reči isključivo o zavisnosti mase autmobila i emisije CO_2 u atmsoferu.

Ranije dobijeni podatak da na 100 kg manje mase znači 10g/km manje CO_2, znači da skidanjem samo 1kg tereta sa vašeg auta, za njegov prosečan život može se uštedeti:

0.1g/km * 200.000km = 20.000g=**20Kg CO_2**

Dakle, uklanjanjem viška tereta od samo jednog kilograma možete za prosečan životni vek od 200.000km sprečiti 20 kg CO_2 da dospe u atmosferu. To i ne zvuči puno, međutim ako teorijom velikih brojeva pomnožimo to sa 1.500.000.000 registrovanih i svakodnevno korišćenih automobila, dobijamo cifru od:

20Kg * 1.500.000.000 = 30.000.000.000 kg = **30.000.000 t CO_2** ,

što za period od 10 godina (prosečan životni vek) daje solidnih ***3.000.000 t godišnje uštede.*** Znači sa *jednim kilgramom manje* na svakom registrovanom autu možemo godišnje uštedeti **3.000.000 t CO_2** ! Kada to pak pomnožimo sa stavrnim mogućim i planiranim smanjenjima mase, za početak od samo *100kg*, dobijamo **200.000.000 t CO_2** manje godišnje, i upoređujući sa *grafikom 5* možemo videti kolika je to samo vrednost.

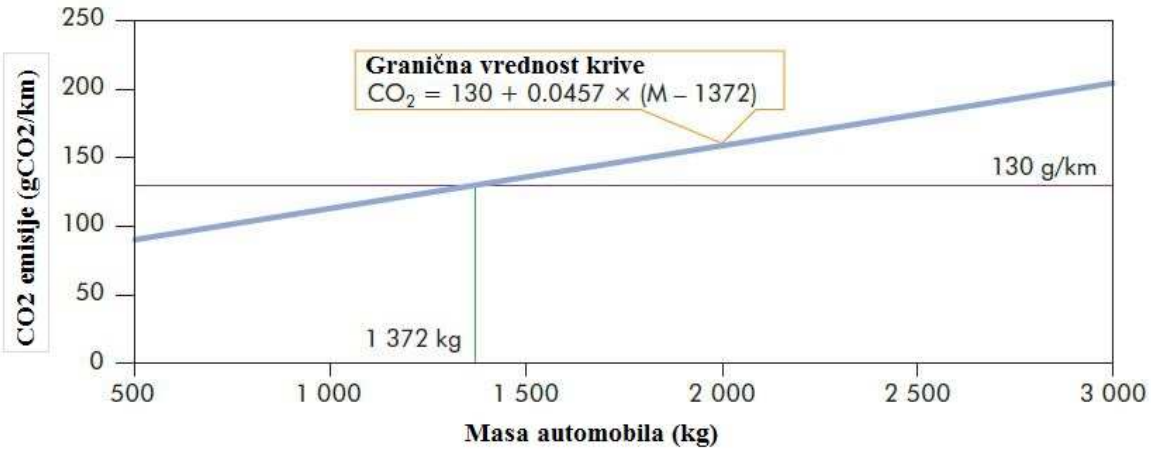
Poenta *downsizinga* ja da ukupnu emisiju smanji za čitavih 70%, a sada ćemo grubo izračunati koliko ostvarenje može očikavati samo od smanjenja automobila, bez modifikovanja agegata, aerodinamike i sličnog. Ušteda u masi očekuje se da bude do 30%, što predstavlja oko 500kg manju masu od trenutne prosečne težine putničkog automobila. To bi značilo da cifru od 2.000.000 t/godišnje CO_2 (skidanjem samo jednog kilograma), pomnožimo sa 500kg, tj očekivanu uštedu u masi do 2035. :

3.000.000 t/god * 500kg = **1.500.000.000 t/god,** što predstavlja skoro 30% godišnje redukcije ugljen dioksida.

[11] Anrico Casadei and Richard Broda**:** *Impact of Vehicle Weight Reduction on Fuel Economy for Various Vehicle Architectures*

[12] Small, K. A. and K. Van Dender: *Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect*

Naravno, ozbiljnija redukcija može se postići delom od redizajniranja i nadograđivanja postojećih agregata, ali budućnost je u alternativnim vidovima energije, i totalnoj rekonstrukciji nama poznatog saobraćaja. Na *grafiku 6* mogu se videti trenutne maksimalne vrednosti emisije CO_2 koje automobil sme imati u odnosu na svoju masu[13]. Tačka koja služi za upoređivanje je tačka koja se nalazo na 130 g/km i 1372kg mase. Govori se o maksimalnim, ne prosečnim vrednostima, dakle ova tačku ćemo pratiti kroz budućnost automobilske industrije.



Grafik 6. Granična vrednost emisije CO2

Naravno, svi ljudi koji se bave ekologijom naše planete, raduju se danu kada će se iscrpeti sve rezerve fosilnih goriva, te ćemo biti prinuđeni da više ulažemo u alternativnu energiju (jer izgeda ljudi ne znaju drugačije), vrlo moguće bez ikakvih direktnih emisija štetnih gasova, sa poboljšavanjem efikasnosti fabrika u kojima se prave, kako bi celokupna emisija štetnih materija bila drastično manja.

5.2.3 SUMIRANJE

Treba na vreme misliti o mogućim scenarijima po pitanju automobilske industrije i njenog direktnog uticaja na ekologiju naše planete. Dokle god je potrošnja fosilnih goriva na ovako visokom nivou, pribegava se rešenjima koje mogu trenutno da smanje emisije, poboljšavajući prosek, ali ne i da u potpunosti zaustave, jer je za to potreban neki od naprednijih izvora energije. Ma koliko pojmovi poput električnih automobila, ili automobila sa hibridnim pogonom zvuče savršeno, svi oni daju male ili nemaju emisije CO_2, ali ona nije u potpunosti iskorenjena, jer 70% svetske električne energije dobija se sagorevanjem kamenog uglja, jednog od najvećih neprijatelja čoveku i njegovoj okolini. Dakle auto sam po sebi ne izbacuje toksične materije, ali fabrike itekako, možda i mnogo više nego što bi sami automobili proizveli za godine i godine korišćenja.



Slika 9. " Zeleni Auto"

[13] John Fenton, Ron Hodkinson**:** *Lightweight Electric / Hybrid Vehicle Design*

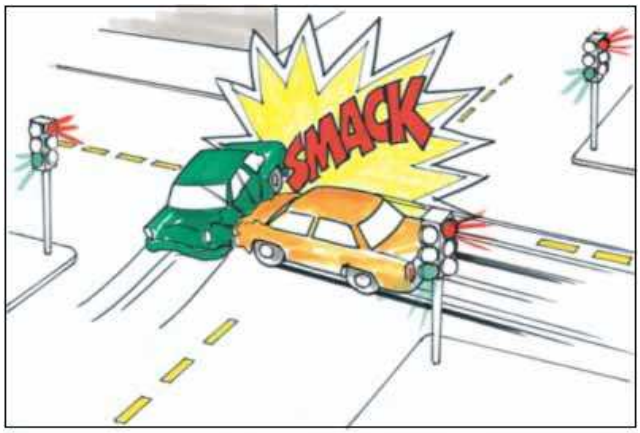
Treba investirati u zatvorene sisteme proizvodnje i obnavljanja energije, u modele gorivnih ćelija, treba tražiti bolju i efikasniju upotrebu vodonika kao goriva, lakši i čistiji način dobijanja, kao i skladištenja, transporta i korišćenja. Za to vreme, pažnju treba obratiti na masu naših aumobila, jer smanjenjm mase možemo barem kupiti sebi nešto vremena dok ne dođe vreme za velike promene, **jer skidanjem samo 100 kg mase svakog auta možemo uštedeti 200.000.000 t CO_2 na svakih godinu dana**, što bi ako ništa drugo barem promenilo trenutni trend povećanja emisije ugljendioksida, pa ko zna, možda i posluži kao dobar oslonac za dalja ulaganja i dalja poboljšanja, tako da na miru možemo pratiti kako maksimalna vrednost emisije CO_2 automobila određene mase, opada.

5.3 UTICAJ MASE NA BEZBEDNOST

5.3.1 UOPŠTENO

Jedan od velikih problema sa kojim se bori gotovo svaka zemlja, **bezbednost u saobraćaju,** deo je koji se u ovom radu ne može izostaviti. Svakodnevno se koriste automobili i želi se da ona budu sigurna za nas i naše prijatelje, nezavisno od veličine, oblika, cene i opreme auta. Danas se automobili mogu naći u veoma širokom spektru različitih karakteristika, oblika, veličine, materijala izrade, jačina i položaja motora, mase, i od kombinacije ovih elemenata dobijemo sveukupnu bezbednost jednog vozila. Naravno, neki elementi utiču na bezbednost u manjoj meri, neki u većoj, pa će u ovom delu pokušati da se odgovori u kojoj meri ***masa automobila utiče na bezbednost putnika,*** *kao i na sveukupnu bezbednost u saobraćaju.* Dakle, utvrđivanje da li se kontrolisanjem mase auta može uticati na smanjivanje broja nezgoda, smanjenje prenešene energije prilokom udesa i na koji način povećanje ili smanjenje mase utiče na ozbiljnost samih nesreća.

Iako je evidentan rast prodaje modernih, skupih, velikih automobila, najveći procenat prodatih i registrovanih automobila ipak pripada automobilima B i C segmenta, koji su poznati po korišćenju mahom jeftinijih materijala, sa deficitom odgovarajuće bezbednosne opreme, ali i manje mase. Da li su lakša vozila manje bezbedna, da li je masa presudan faktor, i da li postoji direktna korelacije između mase auta i bezbednosti učesnika u saobraćaju, pitanja su na koja će se u delu anliza pokušati što valjanije odgovoriti.



Slika 10. Skica saobraćajne nesreće

Trenutno ljudi su mišljenja da veći automobil znači bezbedniji put, nešto što nije laž, ali propušta poentu, mnogo veću od lične bezbednosti, a to bezbednost sistema, tj. celokupna bezbednost u saobraćaju.

5.3.2 ANALIZA

U delu analiza pažnja će biti posebno posvećena razumevanju sila koje deluju prilikom udesa dva automobila ili automobila i nekog statičnog objekta. Neke od sila koje će biti pomenute su *zadržavanje impulsa, apsorbovanje energije i kinetička energija,* a bitno je pomenuti, kada se govori o bezbednosti u saobraćaju, upotrebu materijala pri konstrukciji auta, njihovu čvrstoću i elastičnost, dalje oblik, masu i težište, kao i generalni dizajn auta, koji u velikoj meri utiču na apsorbovanje i predavanje energije. Dakle, pre nego što se krene sa silama koje se mogu videti neposredno pre udesa i u trenutku udesa, valjalo bi istaći ***da veliki deo energije koji se stvori prilikom udesa apsorbuje se , umanjujući silu koju osećaju putnici, i taj deo može biti znatno veći pravilnim dizajnom auta i upotrebom odgovarajućih materijala.***[14]

Prva veličina o kojoj će biti reči je ***impuls.*** Impuls, proizvod mase i brzine nekog tela, može se shvatiti kao nastojanje tog tela da nastavi kretanje u istom pravcu i smeru, ukoliko na njega ne deluje neka spoljašnja sila. On je prirodna posledica *Njutnovih zakona kretanja.* Uglavnom se označava malim slovom **p** i njegova osnovna jedinica je **kg*m/s.** Za razliku od *kinetičke energije,* ***impuls*** je konstantan u izolovanim sistemima, što je u skladu sa *Njutnovim zakonom inercije.* Ukoliko su poznate mase i brzine kretanja bilo koja dva vozila, može se lako izračunati kolika je bila vrednost impulsa prilikom njihovog sudara, kao i uticaj kako brzine, tako i mase na vrednost impulsa.



Slika 11. Direktan sudar dva automobila

Vozilo 1 (**1200 kg, 100 km/h**)

Vozilo 2 (**1500 kg, 100 km/h**)

$$\mathbf{p = m_1v_1 + m_2v_2 + m_3v_3 + \ldots + m_nv_n}$$

$$\mathbf{p = (1200\ kg * 27{,}7778\ m/s) + (1500\ kg * 27{,}7778\ m/s)}$$

$$\mathbf{p = (33333{,}336\ kg * m/s) + (\ 41666{,}67\ kg * m/s\ )}$$

$$\mathbf{p = 75000\ kg * m/s}$$

Obe veličine direktno su proporcionalne u odnosu na impuls, što znači da povećanje bilo koje vrednosti donosi povećanje ukupnog impulsa u sistemu.

[14] U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration: *Vehicle Weight, Fatality Risk and Crash Compatibility of Model Year 1991-99 Passenger Cars and Light Trucks*

Na sledećem primeru biće prikazan način na koji masa auta utiče na povećanje ili smanjenje impulsa. Biće upoređena dva vozila, jedno mase 1200 kg, a drugo 800 kg (*efekat downsizinga, očekivano smanjenje mase od 30%*), koji se kreću jedan prema drugom jednakim brzinama od 90 km/h.

$$\mathbf{p_1 = 1200\ kg * 25\ m/s}$$

$$\boldsymbol{p_1 = 30000\ kg*\ m/s}$$

$$\mathbf{p_2 = 800\ kg * 25\ m/s}$$

$$\boldsymbol{p_2 = 20000\ kg * m/s}$$

Pored evidentno manjeg impulsa lakšeg vozila, bitno je napomenuti da bi vozilo manje mase trebalo da se kreće brzinom od **37,5 m/s, (135 km/h)** da bi imalo istu količinu impulsa kao vozilo veće mase, *što je za 45 km/h veća brzina* ! Sa druge strane, da bi vozilo veće mase imalo istu količinu impulsa kao vozilo manje mase, mora se kretati brzinom od **16,667 m/s (60 km/h),** *što je za čitavih 30 km/h manja brzina !*

Kada je veličina *impuls* u pitanju, jasno se može videti da se veličine masa i brzina objekta koji se kreće javljaju kao ravnopravne vrednosti, čijim povećenjem ili smanjenjem možemo adekvatno menjati vrednost impulsa u sistemu. Sa druge strane, ***kinetička energija,*** energija koju telo dobija kretanjem, favorizuje brzinu kretanja nad masom, što se lako može videti iz formule $\mathbf{E_k = ½\ m * v^2}$**,** gde v^2 znači da se povećanjem brzine kretanja, vrednost kinetičke energije ***eksponencijalno se povećava.***

Kolika god da je vrednost impulsa ili kinetičke energije, evidentno je to da čovek treba da uradi sve što je u njegovoj moći pri projektovanju automobila da se, u trenutku sudara, što je moguće više *energije apsorbuje*[15], a to je moguće isključivo dobrim planiranjem od starta, pažljivim biranjem veličine i dimenzija vozila, njegovog oblika, materijala izrade, kao i drugim bezbednosnih sistema. Dakle, pored smanjenja brzine, koje je uvek i svuda preporučljivo, i smanjenja mase, pravac koji polako uzima maha, posebna pažnja mora se obratiti na čvrstoću i fleksibilnost šasije, rama i tela auta, koristeći materijale koji su lakši od konvencionalnih ali dosta čvršći i izdržljiviji, kao i na efikasne sisteme sprečavanja i ublažavanja posledica saobraćajnih nesreća.

Trebalo bi napomenuti i jedan drugi način na koji masa vozila može uticati na bezbednost vozila, koji je u maloj kontradiktornosti sa prethodno izloženim. Naime, poznata je činjenica da ljudi kupuju veća vozila zbog stava da su veći automobili, uglavnom i teži, sigurniji od manjih i lakših. To se donekle može objasniti sledećom jednačinom:

$$\mathbf{F = \frac{\Delta p}{\Delta t}\ ;}$$

gde je sila (**F**) jednaka promeni impulsa ($\mathbf{\Delta p}$) u jedinici vremena ($\mathbf{\Delta t}$). Dakle, sila nastala pri udarcu zavisi od promene impulsa u jedinici vremena. Jedinica **t** obrnuto je srazmerna veličini **F**, što bi značilo da ukoliko dođe do udesa sa ukupnom količinom od *50000 kg*m/s,* velika je razlika da li će se desiti za pola sekunde ili dve.[16]

[15] John German: *Weight reduction and Safety implications*
[16] Sanjay Patel, Aloke Prasad, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA**):** *Recent Test Program on Vehicle Compatibility*

Kao primer može nam poslužiti primer direktnog sudara vozila različitih masa. Vozilo veće mase nosi sa sobom veći impuls koji se pri direktnom sudaru predaje vozilu manje mase, nastavljajući svoje kretanje unapred, produžujući vreme predavanja impulsa, smanjujući silu koja deluje na putnike unutar vozila, dok putnici lakšeg vozila doživljavaju trenutno zaustavljanje, mnogo veće negativno ubrzanje pa čak i promenu pravca kretanja, jer je na njihovoj strani transfer impulsa bio daleko kraći, ostavljajući putnike u lakšem vozilu sa težim povredama usled jačih sila. Međutim pri direktnom sudaru vozila sa nekim statičnim objektom, poput betonskog zida, teže vozilo će predati veću vrednost impulsa od vozila manje mase, pa bi putnici u težem vozilu trebalo osetiti veće sile, naravno ako se izuzme prisustvo bezbednosnih sistema.

5.3.3 SUMIRANJE

U delu anliza objašnjen je način na koji masa deluje na bezbednost vozila. Zaključeno je da vozila veće mase nose veću količinu energije u odnosu na vozila manje mase, pri kretanju identičnom brzinom. Prednost ovakve situacije je to da prilikom sudara sa vozilom manje mase može izvršiti transfer energije, što bi značilo da putnici osećaju manje sile. Težem, odnosno većem autu, često ide u prilog produženo međuosovinsko rastojanje, veća visina težišta i produžene „zone gnječenja“, mesta koja su predviđena za apsorbovanje energije nastale udesima, povećavajući vreme transfera impulsa i čineći vozilo bezbednijim. Sudari vozila približnih težina daleko su bezbedniji od onih gde je razlika velika, i to je ono ka čemu treba težiti po pitanju bezbednosti.

Generalna redukcija mase uz smanjenje klasnih razlika, kako po pitanju veličine i mase automobila, tako i po pitanju bezbednosnih sistemima i materijalia izrade, i najbitnije od svega, ***dizajna auta,*** trabalo bi da učini sva vozila ravnopravnim po pitanju bezbednosti. Oblik, dimenzije, raspodela mase, upotreba novih materijala, redizajniranje šasija i lokacija agregata i menjača, razvijanje novih bezbednosnih sistema koji budno prate svaku reakciju kako vozača tako i okoline, sve to uz dobro ***dizajniranje zona gnječenja*** (produžavanje i povećanje elastičnosti), trebalo bi da obezbedi daleko veću sigurnost svih učesnika u saobraćaju.



Slika 12. Skica karoserije putničkog vozila

6. METALNI MATERIJALI

Po najnovijim podacima, čak 80% ukupne mase novog automobila odlazi na upotrebu metala i njihovih legura. Koristi se veliki broj različitih metala u različitim količinama i odnosima i za raznolike funkcije, koje određuju različite fizičke ali i hemijske osobine legura. Metali velike čvrstoće ali male lomljivosti koriste se za pravljenje šasija i tela automobila, metali velike provodljivosti koriste se prilikom žičanih instalacija, zatim metali koji su tolerantni na visoke temperature koriste se na kritičnim tačkama u automobilu, itd.. Čistim metalima dodaju se pojedinii elementi u određenim količinama, kako bi specifične karakteristike poboljšali a loše smanjili, i na taj način dobijaju se legure. Najpoznatija legura koja se koristi u autoindustriji je *čelik*, legura metala gvožđa.

Pojedini giganti proizvođači automobila imaju sopstvene inženjere i naučnike koji se bave ispitivanjima materijala i njihovim usavršavanjem, što može doprineti velikoj konkurentnosti. Sam sastav i fizička svojstva legura ne vrede puno ako nisu potkovana dobrim inženjeringom i dizajniranjem automobila, kako bi iste primenili na što je moguće bolji način, da bi bili što efikasniji i efektnivniji.

Obzirom na veliki udeo u masi jednog novog automobila, metali i njihove legure dobra su polazna osnova za vršenje kvalitetnih istraživanja, kako bi se, ne samo poboljšali postojeće legure, već i pronašli novi, efikasniji materijali koji bi mogli u potpunosti da promene način konstruisanja novih automobila.

6.1 GVOŽĐE I ČELIK

6.1.1 UOPŠTENO

Gvožđe (Fe), četvrti element po zastupljenosti u Zemljinoj kori, poznat ljudima još iz davnih vremena. Najstariji artifakti napravljeni od gvožđa datiraju iz 2500. godine p.n.e. dok je pravljenje oruđa od gvožđa postalo svakodnevni proces davne 1200. godine p.n.e. Danas, gvožđe je element koji se najviše topi od svih metala, a čak 98% topljenog gvožđa odlazi na pravljenje različitih vrsta čelika. U autoindustriji koriste se i kovano gvožđe i različiti oblici čelika. U priodi se može naći preko svojih brojnih ruda, od kojih su najzastupljenije *hematit (Fe_2O_3) i magnetit (Fe_3O_4).* Čist Fe ima gustinu od *7874 kg/m^3* i zateznu čvrstoću od *250 MPa.* Tačka topljenja je na 1535°C a tačka ključanja na 2750°C. Međutim, gvožđe se u autoindustriji nikada ne koristi u svom najčistijem obliku, on uvek pored sebe ima i neki procenat ugljenika. Najvećim delom koristi se u vidu raznih vrsta čelika, koji predstavlja porodicu legura od kojih su glavni sastojci gvožđe (Fe) i ugljenik (C). Pored ovih glavnih sastojaka, čelik sadrži i veliki broj drugih metala, ali u veoma malim koncentracijama.



Slika 16. Gvožđe (Fe)

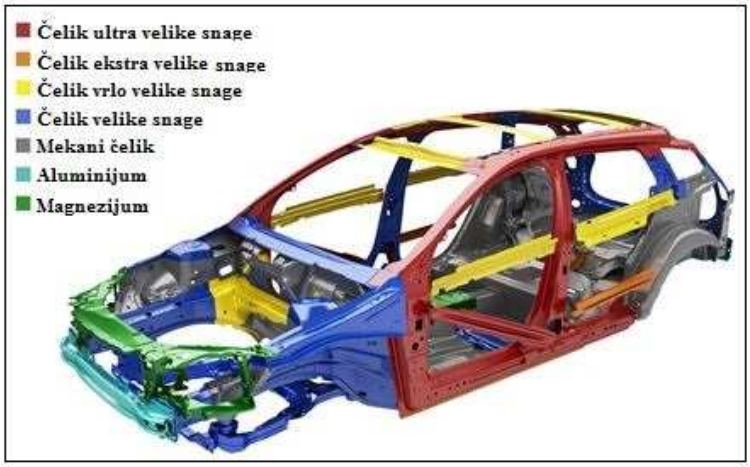
6.1.2 ANALIZA

Prvim procesom topljenja ruda gvožđa u visokim pećima, dobija se *„liveno gvožđe“*, oblik gvožđa koji ima nečistoća, jer sadrži veliki procenat ugljenika, čak 4 %, koji ga čini čvrstim, ali veoma krtim, tako da pri velikom naporu ima tendenciju ka lomljenju pre nego savijanju i krivljenju. Ovakav oblik gvožđa, za razliku od čelika, pogodan je za livenje i oblikovanje, te se od njega prave komplikovani delovi u automobilu poput blokova cilindra u motorima vozila, ili čak sami blokovi motora. Daljom preradom, kada se ukloni celokupni sastav ugljenika dobija se *„sirovo gvožđe“*, materijal poznat po veoma maloj strukturnoj čvrstoći, ali je veoma pogodan za oblikovanje jer je poprilično mekan. Ovakav oblik nema značajnije upotrebe u automobilskoj industriji, jer je zamenjen najslabijim oblikom čelika, tzv. *„**mekanim čelikom**“*.

Mekani čelik sadrži ugljenika do najviše 0.25%, i sa takvim sastavom on je i čvršći i jači od livenog gvožđa. V*eći sadržaj ugljenika u čeliku znači veću strukturnu čvrstoću, ali i veća krtost jer takav čelik se ne savija, već lomi.* Procenat mangana (Mn, 1.65%), bakra (Cu, 0.6%) i silicijuma (Si, 0.6%) su konstantni, dok je sadržaj ostalih materijala (kobalt (Co), hrom (Cr), niobijum (Nb), molibden (Mo), titanijum (Ti), nikl (Ni), cirkonijum (Zr)...) promenljiv i individualan. Naravno, kvalitet čelika ne zavisi samo od njegovog sastava već i od načina i temperature pečenja, jer se na velikim temperaturama menja kristalna rešetka atoma i na taj način menjaju se fizička svojstva čelika. Mekani čelik je veoma dugo bio najkorisniji oblik čelika i najveći deo automobila u našoj istoriji bio je izliven upravo od njega. I danas se koristi poprilično, ali određeni broj proizvođača prelazi ili na druge oblike metala ili na jače oblike čelika. Od mekanog čelika danas najčešće se izrađuju delovi karoserije automobila, ili čak kompletne karoserije, ali to je veoma ratko. Koristi se takođe i u *„zoni gnječenja“* (engl. crumple zone), prednja i zadnja strana vozila koje su najizloženije sudarima, pa zbog svoje veće elastičnosti mekani čelik apsorbuje veliku količinu energije, te ublažuje posledice sudara. Njegova gustina iznosi *7850 kg/m^3*, a zatezna čvrstoća iznosi do *550 MPa.* Jedna od stavki zbog koje se još uvek opredeljuju za upotrebu mekanog čelika je najmanja cena proizvodnje od svih metalnih materijala koje se mogu koristiti prilikom konstruisanja automobila. Posle mekanog čelika, sledeći u nizu su *„**čelik velike čvrstine**“*, *„**čelike ultra velike čvrstine**“ i „**mega čvrsti čelik**“*, čije granice gotovo su nevidljive. Glavne odlike su daleko veća čvrstina ali i krtost. Može se pomenuti gruba podela po čvrstoći, gde je maksimalna zatezna čvrstoća čelika velike čvrstine do *650 MPa*, zatim ultra velike čvrstine do *1000 MPa* i na kraju mega čvrsti čelik može ići do ***1500 MPa***, pa i više. Granice nisu tako jasno iz razloga što pored čvrstoće, bitni faktori su njihov sastav, način pripremanja, kao i hlađenja. Određeni čelici nižih klasa mogu biti čvršći od određenih viših klasa.

Prednost korišćenja ovih čelika u odnosu na mekani, pored evidente razlike u čvrstoći i izdržljivosti, je i činjenica da se delovi od ovih čelika mogu praviti 10 do 15 % tanjim od mekog, pa se na taj način pozitivno može uticati na celokupnu masu vozila, jer su oni svi približne gustine oko *7800 kg/m^3*. Sve teži sigurnosni propisi agencija za bezbednost u saobraćaju nalažu korišćenje čvrstih čelika na mestima gde je to najpotrebnije, kao što su noseći stubovi pored vrata putnika (A i B stubovi), zatim noseće grede krova, kao i završeci zona gnječenja i okviri prednjeg vetrobrana. *Mane* korišćenja ovakvih oblika čelika je veliki problem sa oblikovanjem, pa se najčesće javljaju u vidu ploča i određenih stubova, dok je posebno livenje i oblikovanje gotovo nemoguće. Kao jednako bitna mana, treba pomenuti veliku cenu izgradnje ovakvih čelika, gde se pristupa alternativnim tehnikama topljenja, pečenja i hlađenja, kako bi se postigle određene potrebne osobine, a da se izbegne skupo dodavanje određenih metala u leguru.

Pravilno postavljenom temperaturom i dužinom pečenja može se uticati na učvršćivanje i formiranje pravilne kristalne rešetke unutar atoma legura, i na taj način čelik može postati daleko izdržljiviji i čvršći. Na *slici 17,* slikovito je predstavljena upotreba različitih vrsta metala prilikom konstrukcije karoserije automobila, tačnije ***„zaštitnog kaveza***“, osnova zaštite svakog automobila. Na prednjem kraju vozila, koje predstavlja najpoznatiju zonu gnječenja, možemo redom videti upotrebu magnezijuma, zatim aluminijuma, mekanog čelika i čelika veće snage, redom od prednjeg ka zadnjem delu prednje zone gnječenja. Tim redosledom opada i njihova sposobnost deformisanja i krivljenja, a povećava se sama čvrstina[17]. Dakle, najveći deo energije koja se prenese na automobil prilikom sudara, apsorbuje se u najisturenijem delu vozila, i kako prelazi put ka putničkom odeljku, ima je sve manje i na kraju dolazi do čvrstih, čeličnih delova koji je u potpunosti zaustavljaju. Dizajniranjem na ovaj način obezbeđena je veća sigurnost putnika u kabini prilikom čeonog sudara, najčešćeg vida udesa dva putnička auta. Crvenom i narandžastom bojom na slici oboležena je upotreba čelika najveće čvrstine, to su krucijalna mesta, jer na bočnim stranama i na krovu ne postoje zone gnječenja, već je tu direktan kontakt sa stranim objektom ili zemljom, prilikom prevrtanja, pa se moraju posebno zaštititi.



Slika 17. Volvo V60, upotreba metala u karoseriji

Ovakva kompozicija predstvalja dobro sigurnosno rešenje, ali po pitanju mase vozila i ne baš tako dobro. Naime, ima dosta upotrebljenih čelika velikih snaga, koje potencijalno mogu smanjiti masu vozila, ali upotreba stvarno lakih materijala je vrlo mala. Magnezijum i aluminijum korišćeni su u jako malom odnosu, dok povećana upotreba aluminijuma i pravilno konstriusanje karoserije mogu doprineti daleko lakšem vozilu, ali jednako bezbedim.

Većina čelika korišćenih u autoindustriji imaju gustinu od pomenutih 7800 kg/m3, dok je prosečna gustina aluminijuma 2700 kg/m^3, a ugljeničnih vlakna samo 1700 kg/m^3. Ugljenična vlakna imaju i daleko veću čvrstinu od svih čelika korišćenih prilikom konstrukcije auta, ali o njemu nešto više kasnije.

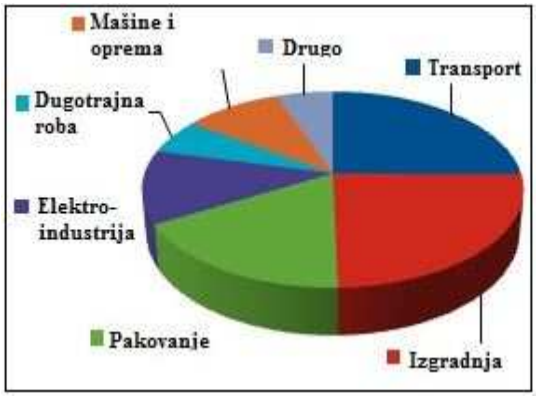
Prednost čelika u odnosu na većinu drugih materijala predstavlja cena proizvodnje, laka pristupačnost i izobilje mogućnosti, daleko je jeftiniji od ostalih materijala, a pravilnom upotrebom može zadovoljiti osnovne probleme čvrstine, sigurnosti i trajnja. Mana, sa druge strane, ima dosta, počevši od problema sa korozijom, nemogućnost livenja delova automobila, i njaveća mana od svih, ima preveliku masu, i vrlo negativno utiče kako na vozne karakteristike, tako i na ekonomske, ekološke i aspekte održivog razvoja.

[17] John German, Weight reduction and Safety implications, France 2008

6.1.3 SUMIRANJE

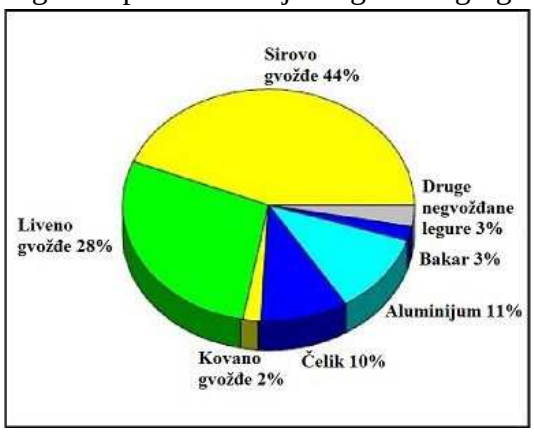
Metal gvožđe i njegove legure čelika pomenute se prve kao bi postale neka vrsta benčmarka, sa kojim ćemo upoređivati ostale materijale, kako metalne, tako i kompozitne nemetalne. Kao najkorišćeniji materijal u autoindustriji, čelik se koristi već dugi niz godina, još od pojave prvih automobila, pa je vremenom njegova proizvodnja dosta usavršena i daleko jeftinija od ostalih metoda. Ostali materijali u klasi trebalo bi da pokažu neke veoma zavidne rezultate da bi se, pored svoje visoke cene, našle konkurentnim. Međutim, upotreba čelika pri proizvodnji automobila , kako statiska kaže, prošla svoju kulminaciju i u opadanju je. Za to je pre svega zasluženo ulaganje u istraživanja aluminijuma, ali i ostalih materijala koji će biti pomenuti dalje u radu.

Čelik sa svojom gustinom od 7800 kg/m^3, i po nekoliko puta teži je od kokurenata, i u svojoj najčvršćoj firmi ima čitiri puta manju izdržljivost od ugljeničnih vlakana. Da bi neki auto ostao konkurentan na tržištu, mora kupcima biti ponuđen automobil male mase, koji može zadovoljiti sve ono što kupac traži vezano za uživanje u vožnji i upravljivost, zatim trajnost i izdržljivost, i naravno motornu efikasnost i ekonomski aspekt. Sve rigoroznije norme i zakoni uslovljavaju ubrzan razvoj lakših materijala, jer se niske vrednosti sa ekološkog aspekta gledano, mogu postići isključivo projektovanjem automobila manje mase, naravno ako se govori u motorim sa unutrašnjim sagorevanjem. Osatli vidovi energije koji navodno nemaju štetnih izduvnih gasova, pa ne zagađuju „direktno planetu“, ali „indirektno“ i te kako, jer se izgrađuju druge fabrike koje troše neke druge resurse, kako bi proizvele neki vid energije za vaše vozilo.



Grafik 7. Svetska potrošnja gvožđa i čelika po sektorima, 2008. godina

Dakle, sve dok nafta i njeni derivati budu glavni pokretači najvećeg dela agregata na svetu, autoindustrija nastaviće ovakvim tokom, ali moraće da poštuje sve rigoroznija pravila, dok konačno se ne bude prešlo na neki alternativni vid energije. Treba još da se napomene, da je generalna potražnja za čelikom na izuzetno velikom nivou, ubrzana izgradnja velikih i skupih nebodera i drugih ogromnih građevinskih kompleksa, zahtevaju izuzetno velike količine čelika, u svojim najjačim izdanjima, a i sam sektor pakovanja proizvoda veoma posebno je tržište čelikom. Čelik će nastaviti da se proizvodi u ovim količinama, ako ne i više, dok se neki drugi materijali ne nađu kao konkurentni čeliku na brojnim poljima na kojima dominira. U izgradnji se troše još veće količine nego pri konstrukciji automobila, s toga su presudni faktori jeftina proizvodnja i veliki broj kokurentnih proizvođača, pored svojih fizičkih svojstava.



Grafik 8. Svetska proizvodnja metala 2008. godine

6.2 TITANIJUM

6.2.1 UOPŠTENO

Titanijum (Ti), deveti element po zastupljenosti u Zemljinoj kori, sa udelom od 0.57% , uglavnom može se naći preko svojih malobrojnih ruda, od kojih su najpoznatije *rutil (TiO_2) i ilmenit ($FeTiO_3$).* Njegov pronalazak vezuje se za 1791. godinu, dok je čisti titanijum prvi put proizveden tek 1910. godine. Danas njegova proizvodnja predstavlja samo 5% ukupne svetske proizvodnje metala, uglovnom zbog veoma skupih procesa dobijanja. Međutim, iako veoma skup, titanijum ima veliki niz prednosti u odnosu na gvožđe, prevashodno zateznu čvrstoću, koja iznosi *434 MPa*, što predstvalja približnu vrednost vrednosti mekanog čelika, sa bitnom razlikom u masi, jer gustina osnovnog titanijuma iznosi *4500 kg/m^3*, što predstvalja masu nižu od čak 60%. Određene legure titanijuma mogu dostići vrednosti čvrstoće od *1400 MPa*, međutim ona opada sa temperaturama većim od 430°C. Tačka topljenja iznosi 1668°C, dok se tačka ključanja nalazi na visokih 3287°C. Zbog svojih karakteristika, primenjuje se u avioindustriji, zatim brodogradgnji i građevinarstvu, kao i autoindustriji, o čemu će biti diskutovano kasnije.



Slika 18. Titanijum (Ti)

6.2.2 ANALIZA

Na prvi pogled dobijanje titanijuma trebalo bi da bude lako, jer se dobija iz rude *rutil* (titanijum dioksid TiO_2), koja pored jednog atoma titanijuma ima samo još dva atoma kisonika. Međutim, titanijum na velikim temperaturama reaguje sa kiseonikom, pa je nemoguća obična redukcija molekula O_2. Iz tog razloga, dobijanje upotrebljivog titanijuma mora se izvršiti preko različitih procesa, od kojih je najpoznatiji *Krolov proces*, koji pored veoma kontrolisanih usolva i upotrebe dodatnih reagensa, traži i trošenje jednog takođe skupog metala, *magnezijuma*. Upravo to je razlog velike cene proizvodnje titanijuma, koji predstavlja i najveći problem njegove kokurentnosti na tržištu. Titanijum u svom osnovnom, čistom obliku, ima veliki broj vrlina, koje se dodavanjem ali i oduzimanjem određenih elemenata mogu znatno poboljšati. Takav titanijum i dalje ima određen procenat kiseonika u svom sastavu, od koga direktno zavise karakteristike. Trenutno postoji čak 38 različitih vrsta titanijuma i njegovih legura, koji su klasifikovani u razrede, od 1 do 38.

Prva četri razreda predstavljaju čist titanijum (mada na neki način i leguru titanijuma i kiseonika), koji se razlikuju po procentu kiseonika (od 0.18% do 0.40%), čija povećana koncentracija direktno utiče na čvrstoću metala, a negativno na električnu provodljivost. U zavisnosti od primene titanijuma, u legure dodaju se različiti elementi, koji njegove pozitivne karakteristike, lakoću, čvrstinu, snagu, provodljivost i otpornost na koroziju, mogu znatno povećati.

Elementi koji se uglavnom dodaju su *aluminijum (Al), vanadijum (V) , niobijum (Nb), cirkonijum (Zr), hrom (Cr), molibden (Mo), i kiseonik (O).* Najčešće korišćena legura je **Ti-6Al-4V** (*pored titanijuma ima i 6% aluminijuma i 4% vanadiju*ma), koja se najvećim delom koristi u avioindustriji, pri izgradnji delova mlaznih motora, zatim okvira aviona kao i brojnih, sitnih delova. Ova legura koristi se takođe i u autoindustriji, međutim u jako malim količinama. Gustina ove legure iznosi *4400 kg/m*^{3}, a maksimalna čvrstoća čitavih *845 MPa.* To bi značilo da ova legura titanijuma ima sličnu čvrstoću kao čelik ultra velike čvrstine, ali čak 45 % manju masu. Zbog takvih karateristika, a veoma skupog procesa dobijanja, upotreba titanijuma je za sada ograničena na manje uloge, pa se koristi uglavnom pri konstruisanju *ventila, zupčanika bregastih osovina, upravljačkih mehanizama, velikog dela amortizacije automobila uključujući i opruge, zatim kočionih kliješta, pločia i diskova, setova kvačila, zupčanika prenosa, kao i felni i izduvnih sistema.* Veliki broj matica i šrafova pravi se takođe od titanijuma. Dakle, titanijum je sada zadužen uglavnom za zamenu određenih, čeličnih delova, koji može doprineti jako boljim karakteristikama, ali tek neznatno za redukciju mase. Jedini oblik u kom titanijum, trenutno, može dramatično uticati na masu, performanse i sigurnost, je **karbo-titanijum,** materijal koji kombinuje, ranije pomenutu , *Ti-6-4 leguru* titanijuma, sa jednim od najkvalitetnijih sintetičkih materijala, *karbonskim vlaknima*. Postavljen je tako da titanijumska rešetka predstavlja jezgro materijala, a karbonska vlakna kao omotač, čime je postugnuto *povećanje snage od 4 i čvrstoće od 6 puta* u odnosu na sama karbonska vlakna !



Slika 19. Izduvni sistem napravljen od titanijuma



Slika 20. Karbo-titanijum

Naime, velika zatezna čvrstoća u kombinaciji sa jako malom masom doprinosi slabijoj rastegljivosti i amortizaciji, pa su ugljenična vlakna posebno krta i lome se vrlo naglo, bez upozorenja. To je nadomešteno sa*ć*em napravljenim od Ti-6-4 legure, koja ima manju čvrstoću, ali daleko bolje „apsorbovanje sile“, pa je takva struktura pokazala veliko poboljšanje karakteristika, uz povećanje mase od skoro 30%. Obzirom da ja ovaj materijal još uvek u fazi ispitivanja i usavršavanja, povećanje mase od 30% na početnu gustinu od 1.75 kg/m^3 sada iznosi 2.35 kg/m^3, što i dalje predstavlja mnogo manju gustinu od gustine aluminijuma, trenutno najlakšeg komercijalnog metala. Pored male gustine i mase, ovaj materijal beleži rekordne vrednosti čvrstoće, od preko **10,000 MPa**.
Međutim, najveći problem ovakve kompozicije je izuzetno velika cena proizvodnje, jer se za proizvodnju koriste dva trenutno najskuplja komercijalna materijala u autoindustriji. Automobil koji jedini ima šasiju napravljenu od ovog materijala je *Pagani Huayra,* automobil kome cena počinje tik iznad *800.000€.* Međutim, jedan deo svetske proizvodnje titanijuma prebacuje se na drugačiji metod od Krolovog porcesa, koji ima manje faza, troši manje energije i sirovine, pa se najavljuje opadanje troškova proizvodnje titanijuma.

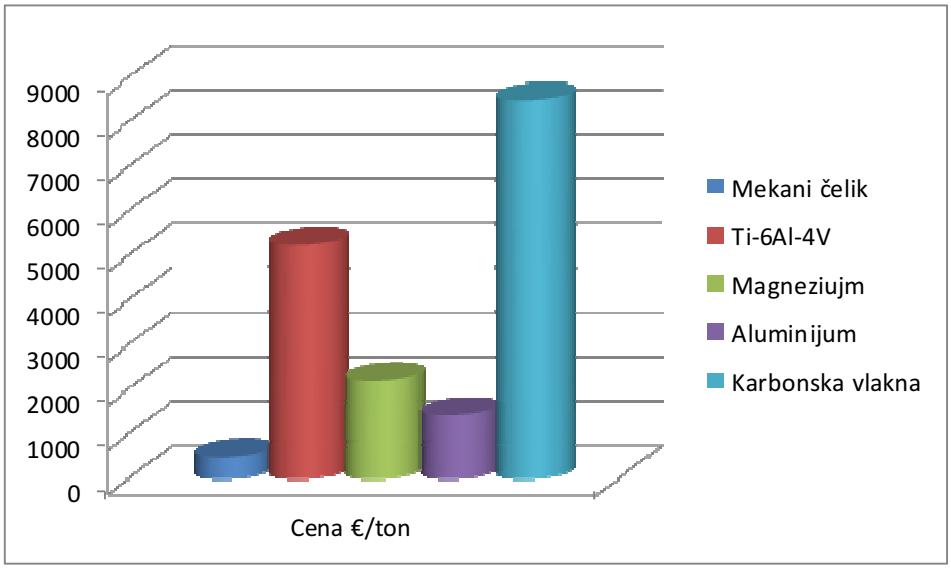
6.2.3 SUMIRANJE

Titanijum predstavlja jedan metal prepun potencijala, čija eksploatacija tek od nedavno uzima maha. Svaki proces proizvodnje vremenom se usavršava i postaje sve efikasniji, pa to nije izuzetak ni kod proizvodnje metala u autoindustriji. Legure titanijuma će vremenom bivati sve jeftinije, dok će njegove, i sada odlične fizičke i hemijske osobine, napredovati i biti sve konkurentnije. Lakoća, velika snaga, mogućnost lakog oblikovanja i otpornost na koroziju, samo neki su od razloga zbog kojih je titanijum najkorisniji materijal u avioindustriji, izgradnji svih objekata i vozila koji su u dodiru sa slanom vodom, kao i industriji svemirskih letelica i šatlova.

Pored ovakvih, direktnih funkcija, titanijum se velikim delom koristi za pravljenje drugih legura i kompozitnih materijala. Karbo-titanijum je samo jedan od materijala koji izgleda obećavajuće, međutim postoji još dugačak niz legura u koje se titanijum dodaje, kako bi poboljšao kako fizičke tako i hemijske osobine. Njegovo tržište sada je vrlo rasprostranjeno, ali nije tražen u ogromnim količinama, kao npr. gvožđe.

Pored skupe proizvodnje, veliki problem predstavlja veoma komplikovana proizvodnja, jer se veći deo dobijanja ovog metala vrši u kontrolisanim uslovima, što bi pored ostalog značilo da sav vazduh iz prostorije mora biti zamenjen *helijumom, ili još bolje argonom*, jer je titanijum reaguje sa svim gasovima iz naše atmosfere, *azotom (N), ugljen dioksidom (CO_2) i najburnije od svih, sa kiseonikom (O).* Kada se jednom dobije, lako ga je oblikovati, ali neophodno je dalje rafinisanje putom legura, dodavanjem skupih metala, ali i nemetala.

Postoji veliki broj kritičara koji sumnja u ozbiljniju upotrebu titanijuma u automobilskoj industriji, jer trenutna cena je gotovo 10 puta veća od cene proizvodnje čelika i smatraju da, zbog komplikovanosti procesa, nikad neće dostići konkurentnu cenu.



Grafik 9. Cena materijala na evropskom tržištu

Na *grafiku 9* može se direktno uporediti cena proizvodnje različitih materijala na tržištu Evrope, gde se kao ekstremne vrednosti izdvajaju titanijum i ugljenična vlakna, sa cenama od deset pa čak i petnaest puta većim vrednostima od čelika. Tako da i pored veoma pozitivnih fizičkih karakteristika, titanijum može postati konkurentan samo uz drastično smanjnje cene proizvodnje i prodaje.

6.3 MAGNEZIJUM

6.3.1 UOPŠTENO

Magnezijum (Mg), osmi element po zastupljenosti u Zemljinoj kori (13%), u velikom delu nalazi se i u Zemljinom omotaču. Obzirom da je lako rastvorljiv u vodi, nalazi se na trećem mestu po koncentraciji rastvorenih metala u slanoj vodi. Iako se može naći u mnogo oblika i sastava, rude bitne pominjanja su *dolomit ($CaMg(CO_3)$ i magnezit ($MgCO_3$).* Čist magnezijum ima gustinu od *1750 kg/m^3* i Zateznu čvrstoću od *140 MPa.* Tačka topljenja se nalazi na *650°C*, dok tačka ključanja na *1091°C*. U auto industriji magnezijum se ne koristi u svojoj čistoj formi, već u formi legura, gde mu se dodaju u metali poput *aluminijuma (Al), cinka (Zn), silicijuma (Si) i (Mn), mangana* u veoma malim količinama. Magnezijum i njegova dejstva otkrivena 1618. godine od strane engleskog farmera, dok je proizvodnja komercijalnog magnezijuma započela je 1852. godine, 1941. napravljena je prva fabrika koja je dobijala magnezijum procesom koji se koristi i danas, „*Pidž'n proces*“ (engl. Pidgeon process, po imenu Lloyd Montgomery Pidgeon).



Slika 21. Magnezijum (Mg)

6.3.2 ANALIZA

Magnezijum se može dobiti na više načina. Jedan od načina je *hidroliza magnezijum hlorida ($MgCl_2$)* iz morske vode do *magnezijum hidroksida ($Mg(OH)_2$)* i njegova dalja *kalcinacija do magnezijum oksida (MgO).* Drugi način je *kalcinacija magnezita ($MgCO_3$)* uklanjanjem CO_2, takođe do *magnezijum oksida (MgO).* Proces koji je najšire korišćen i predstavlja vid dobijanja trenutno najčistijeg magnezijuma je pomenuti „Pidgeon process“, kome je osnovna ruda *dolomit ($(CaMg)CO_3$).* Nakon par procesa dobija se magnezijum u gasovitom obliku, koji se kasnije hladi, taloži i steže, i pravi oblike slične onim sa slike 12. Takav magnezijum se šalje na dalje rafinisanje i pravljenje određenih legura, koje se kasnije koriste u različite svrhe. Legure magnezijuma koriste se uglavnom zbog kombanicije svoje lakoće i čvrstoće. Najviše se koriste pri proizvodnji helikoptera i aviona, delova njihovih motora i menjačke kutije, zatim okviri sedišta, okvir prtljažnog prostora, kućišta raketa, kao i pri optoci, a najpoznatije legure su AM60 (*Al 6%, Mn 0.15%, Si 0.5%, Zn 0.2%*) i AZ91 (*Al 9%, Mn 0.15%,Zn 0.15%*), međutim postoji i veliki broj kombinacija ostalih elemenata i sadržaja. Najpoznatije legure korišćene u automobilskoj industriji su ***AM60 – 65***, ***RZ5*** (*Zn 5%, Zn 1% i elementi retkih zemalja 1.5%*), i na kraju (*Al 8%, Zn 0.65%, Si 0.35%, Mn 0.22%*).

Veoma lako se oblikuju, male mase i solidne čvrstine, ali lako zapaljive, pa se u automobilima koriste na određenim mestima. *Letva upravljača, sam upravljač, unutrašnji okviri petih vrata i zadnjih vrata, konstrukcija sedišta, usisne grane, pokolpac glave motora, i od bitnijih ušteda, kućišta menjača i aluminijumske felne.* Koristi se i pri konstrukciji „*zona gnječenja*“, jer ima elastičnu strukturu i pomaže pri apsorbovanju sila prilikom udesa. Njihova gustina iznosi maksimalnih *1.800 kg/m*^{3}, dok je zatezna čvrstoća *275-375 MPa,* koja je približna vrednosti koju ima aluminijum, ali 30% lakša. U odnosu na čelik, masa magnezijuma predstavlja samo 25% mase čelika, pa bi u teoriji, 100 kg upotrebljenog magnezijuma na autu, trebalo da zameni čak 400 kg čelika, *uz ostvarenje oštede od neverovatnih 300 kg.* Problem predstavlja nemogućnost široke upotrebe magnezijuma kod automobila, pa su velika smanjenja mase trenutno nemoguća. Međutim, sporadično se nailazi na automobile sa ukupnom masom ugrađenog magnezijuma od oko 20kg, što predstavlja direktno smanjenj mase od 60kg, što doprinosi boljoj motornoj efikasnosti i smanjenju emisija štetnih gasova. Upotrebom magnezijumskih felni, može se uštedeti do 20-30 kg u zavisnosti od veličine felni, zatim magnezijumskih menjačkih kutija čak i do 50 kg. Postoji i veliki broj funkcija u automobilu na kojma se mogu obezbediti neznatna smanjenja mase, dok se isto tako veliki deo upotrebe magnezijuma zasniva na njegovim drugim fizičkim karakteristikama poput fleksibilnosti, elektro i termo provodljivosti.



Slika 22. Menjačka kutija napravljena od magnezijuma

Kao i svaki drugi element, i magnezijum ima svojih loših strana. Neki od bitnijih su veoma velika zapaljivost, tačka paljenja nalazi se na oko *600°C,* dok velika reaktivnost magnezijuma u njegovim legurama doprinosi i veoma velikoj tendeciji ka koroziji. Čist magnezijum ostavljen na sobnoj temperaturi uhvatiće korodivni sloj u samo par sekundi. Naravno, dodavanjem određenih elemenata, neki od loših karakteristika mogu se smanjiti, ali veoma teško i potpuno ukloniti. Za to se koriste različiti premazi i farbe, kako bi na što bolji način zaštitili površinu legure. Većina ovih premaza sadrži kancerogene elemente, kao i sam cijanid. Još jedan od problema je i reciklaža magnezijumskih legura, koja predstavlja prilično koplikovaniji proces od, npr. reciklaže aluminijuma, i mora se odigrati u kontrolisanim uslovim, što je uvek skuplje. Proizvodnja magnezijuma i njegovih legura nije veoma skupa, naprotiv, ona je više nego duplo manja od cene proizvodnje titanijumskih legura, ali skuplja od čelika i aluminijuma.

Međutim, kad je u pitanju proizvodnja automobila, od magnezijuma se dosta očekuje u budućnosti, pre svega zbog svoje jako male gustine i mase. Tehnologija napreduje ubrzano, procesi se menjaju, sve dobre karakteristike se poboljšavaju a loše uklanjaju, pa je veoma realna slika da se u budućnosti veliki broj komponenti unutrašnjosti naših vozila bude izgrađen upravo od veoma lakih, ali i izdržljivih legura metala magnezijuma. Proizvodnja istih nalazi se na mestu gde se proizvodnja čelika nalazila pre 25 godina, tako da se realno može očekivati povećanje konkurentnosti ovih legura u skorijoj budućnosti.

6.3.3 SUMIRANJE

Magnezijum je element veoma bitan za pravljanje delova kako u avio, tako i auto-industriji. Njegova mala gustina, velika snaga, odlična provodljivost struje i toplote, dobar elektro-magnetni štit, samo su neke od karakterisitka koji ga čine veoma potentnim. Međutim, zbog svoje korozivnosti, čist magnezijum koristi se jako retko, pa mu se dodaju određeni metali kako bi nastale legure boljih karakteristika. Dodavanje čistog aluminijuma pokazalo se veoma dobrim za poboljšanje korozivnosti, ili elementi retkih zemalja, za povećanje izdržljivosti na velikim temperaturama. Legure magnezijuma lake su za livenje, pa se iz tog razloga veliki broj delova može praviti upravo od njih. Obzirom da predstavlja samo ¼ mase koju ima čelik, svaki kilogram upotrebljenog magnezijuma je bitan, jer on znači 3 kg manje mase nekog dela, ili sistema.

Najpoznatije legure u automobilskoj industriji su AZ91, AM50, AM60 i RZ5, dok je najšire korišćena legura A231, koja se najvećim delom koristi u avionskoj industriji, pogotovu u vojnim helikopterima i avionima. Sve legure magnezijuma dodatno se premazuju zaštitnim farbama i slojevima, kako bi osigurali dugogodišnji rad bez korozije.

Trenutni prosek upotrebe magnezijuma u automobilima je oko 4 kg, ali se nailazi na modele srednjih i viših klasa, koji imaju do 20 kg, dok postoje i hiper automobili koji su samo na upotrebi magnezijuma uštedeli preko 300 kg[18]! Magnezijum nije pogodan za pravljenje šasija i tela automobila, ali je dobra zamena pri konstruisanju različitih, teških delova unutar automobila. Cena dobijanja ovih legura jeste skuplja od dobijanja čelika i legura aluminijuma, ali će u budućnosti, svojim fantastičnim odnosom mase i snage, to i opravdati. Kao i svuda, procesi se menjaju, sazrevaju, pa tako i proizvodnja magnezijuma i njegovih legura vremenom će zahtevati manji broj procesa i manje temperature, pa će samim tim cena njihove proizvodnje biti manja. Na taj način magnezijum će postati ozbiljniji i konkurentniji protivnik čeliku. Gigant koji trenutno kontroliše 95% svetske proizvodnje je Kina, koja ima veoma jeftinu radnu snagu i jako dobru tehnologiju, tako da je pojeftinjenje proizvodnje legura i povećanje njihove tražnje neminovno.

Veliki broj svetskih naučnika i kritičara zapravo favorizuje upotrebu magnezijuma, i smatra se da će inovativne automobilske kompanije poput Volkswagen-a ili BMW-a, gledano dugoročnije, na period od barem 10 godina, *povećati upotrebu magnezijuma sa do sada maksimalnih 25kg, na prosečnih 150 kg*[19]*!* Ovaj podatak zvuči jako zanimljivo, jer bi samo zamenom određenih delova i upotrebom legura magnezijuma u ovoj količini, moglo doprineti masivnoj uštedi u masi od čak 450 kg, dok karakterisitke novougrađenih delova mogu biti samo bolje u odnosu na prethodne.

Naravno, postoji veliki broj legura magnezijuma koje su još uvek u test fazama, jer kombinacija je praktično nebrojano mnogo, samo bi trebalo dobiti legure koje su, prevashodno, jeftinije za proizvodnju, a zatim bolje, izdržljivije i otpornije od dosada poznatih. Dakle, magnezijum i njegove legure, vremenom će zasigurno postajati sve konkurentnije.

[18] Kelvii Wei Guo, A Review of Magnesium/Magnesium Alloys Corrosion and its Protection, China 2010
[19] Anrico Casadei and Richard Broda**,** Impact of Vehicle Weight Reduction on Fuel Economy for Various Vehicle Architectures, SAD 2007.

6.4 ALUMINIJUM

6.4.1 UOPŠTENO

Aluminijum (Al), treći element po zastupljenosti (odmah nakon kiseonika O i silicijuma Si), i najzastupljeniji metal u Zemljinoj kori, u čijoj masi ima udeo od čak 8%. Nalazi se u preko 270 minerala a njegova najveća ruda je stena *boksit*, koje se najvećim delom sastoji iz minerala *gibsit* ($Al(OH)_3$). Čist aluminijum karakteriše dobra električna i toplotna provodljivost, otpornost na koroziju, nenamagnetisan je i teško se pali, sve to uz veoma malu gustinu. Njegova gustina iznosi 2.700 kg/m^3, što predstavlja samo 30% gustine gvožđa i čelika. Zatezna čvrstoća čistog aluminijuma iznosi *10-20 MPa*, dok njegovih legura iznosi *200-600 MPa (najčešće oko 450 MPa)*. Tačka topljenja nalazi se na *660°C*, a tačka ključanja čak *2519°C*. U automobilskoj industriji aluminijum se koristi putem svojih legura, dodavanjem elemenata poput *bakra (Cu), magnezijuma (Mg), mangana (Mn), silicijuma (Si) i cinka (Zn)*. Poznati su podaci koji potrđuju korišćenje aluminijuma u vreme drevnih Grka i Rimljana, ali se smatra da je prvi put aluminijum proizveden 1825. godine (nečist aluminijum). Godinama su se procesi usavršavali da bi 1880. nastao *Hall-Heroult Process*, proces koji je i dan danas zastupljen i predstavlja naglo smanjenje cene proizvodnje aluminijuma, te on prestaje da bude skuplji od zlata. Zbog svojih mnogobrojnih dobrih karakteristika, zbog lakoće obrade, livenja i topljenja, aluminijum je našao veoma široku primenu, ne samo u autoindustriji, već i avionskoj industriji, transportu uopšte, građevinarstvu i metalurgiji. *Niti jedan drugi metal ne može se koristiti na toliko različitih načina i u toliko različitih domena, npr. u domaćinstvu, na tlu, na vodi, u vazduhu, transportu, industriji, trgovini.*. Jedna od najpoznatijih upotreba predstavlja i *pakovanje*, uključujući i hranu i piće, folije, i jedan od manje poznatih je korišćenje aluminijuma u svrhe prenosa struje putem dalekovoda i kablova, jer iako ima za nijansu manju provodnjivost od bakra, ima tek delić njegove mase (*2.700 naspram 8.950 kg/m^3*). Pored svih ovih karakterisitka, moguće ga je u potpunosti reciklirati, pri čemu ne gubi nikakav kvalitet.



Slika 23. Aluminijum (Al)

U automobilski svet polako unosi revoluciju, predstavlja najjačeg konkurenta čeliku danas, velika čvrstina u kombinaciji sa ostalim prednostima, a pogotovu manjom masom, može rezultovati projektovanjem dosta lakših ali i većih i sigurnije koncipiranih automobila. Danas postoji određen broj autokompanija koji uveliko koriste aluminijum u svojim vozilima, ali ta upotreba trenutno se vezuje za automobile viših klasa, jer je upotreba aluminijuma skuplja od upotrebe čelika, pa se jedino većom cenom auta mogu pokriti troškovi njegove upotrebe. Međutim, cena proizvodnje polako opada a tražnja pak raste, pa je neminovno da će u skorijoj budućnosti aluminijum igrati sve značajniju ulogu, jer je ovaj metal prepun potencijala, naročito u transportu.

6.4.2 ANALIZA

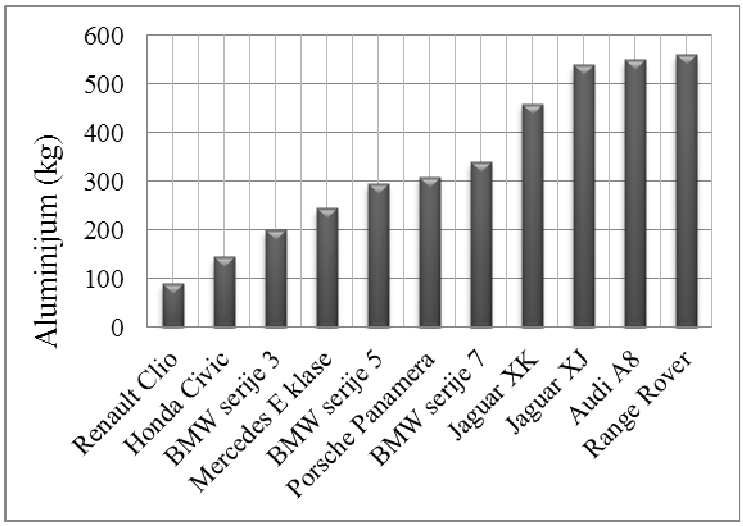
Čak 90% svetske proizvodnje aluminijuma dobija se iz rude *boksit*, iz koje se određenim procesima izvlači *alumina* (aluminijum oksid Al_2O_3), koja je ključna za dobijanje aluminijuma, jer od 2 tone boksita dobija se jedna tona aluminijuma. Veoma velika koncentracija aluminijuma, koji se nizom procesa odvaja od ostalih elemenata koje se nalaze u rudi, poput gvožđa, titaijuma i silicije. Kao sirov metal, aluminijum se koristi veoma retko, uglavnom za neka pakovanja i kao provodnik, dok za svaki ozbiljniji poduhvat potrebna je legura. Postoji veliki broj legura i obeležavaju se u serijama brojevima od 2000-9000 i serije se razlikuju po elementima dodatim u leguru. Primera radi, najčešće korišćena legura u avio industriji je legura *7075* , koja pripada 7xxx seriji čije glavna zajednička osobina najveći procenat cinka (Zn) od svih ostalih elemenata, pa ova konkretna legura ima procenat cinka od 5-6% . Postoje i različite varijacije svake legure, pa pomenuta 7075 može imati zateznu čvrstoću i do *600 MPa*, uz gustinu od samo 2.810 kg/m^3. Sve legure aluminijuma mogu se pohvaliti veoma malom gustinom i odličnim antikorozivnim karakterisitkama. U automobilskoj industriji koristi se veoma veliki spektar legura aluminijuma. Legure serije *2xxx (185-425MPa)* koriste se za pravljenje unutrašnjih i spoljašnjih ploča karoserije auta, felni, *3xxx (110-280MPa)* pri konstrukciji hladnjaka, određenih creva i toplotnih štitova, *5xxx (125-350MPa)* za unutrašnje ploče i delove karoserija, podove i gepek jer ima mogućnost lakšeg varenja od ostalih. Skoro sve legure aluminijuma, toplotno obrađivane ili ne, imaju problema sa varenjem, pa se moraju variti na specijalan način koristeći punjenja napravljena od legura 1xxx i 2xxx serije, kako bi se izbegle pukotine. Najbitnije legure koje se koriste u autoindustriji one su iz serija *6xxx i 7xxx*, jer se one koriste za samu šasiju i sa ostale delove kojima treba velika čvrstina. Upravo na ovakvim mestima upotreba aluminijuma može značajno da napravi promene u odnosu na čelik, jer najveći deo mase auta odlazi upravo na te delove, pa je rezultat i po par stotina kilograma redukcije mase uz jednaku čvrstoću, sa prednošću u obliku nekorozivnosti.



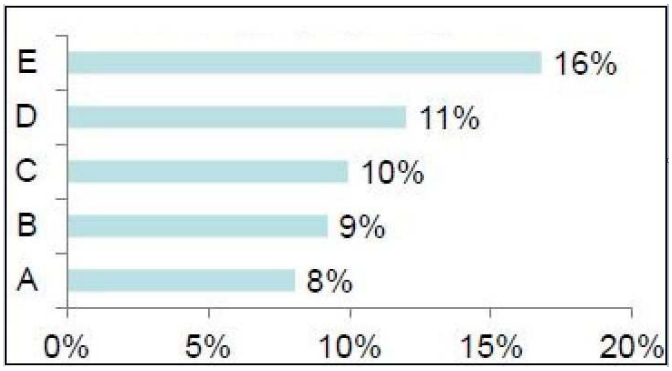
Slika 24. Audijeva aluminijumska šasija

Naime, legura aluminijuma *6061* (oko 300MPa) najčešće je korišćena legura za konstruisanje karoserije automobila, čijom upotrebom može se ostvariti ušteda od gotovo 300 kg, i još 50 kg na upotrebu *4xxx legura* (do 350 MPa) za izgradnju bloka motora. Pravilnim dizajniranjem samo šasije i bloka motora može se dobiti ušteda *od 350 kg*, uz dodatno poboljšanje određenih karakteristika, i to jedan od velikih prednosti aluminijuma nad osatlim materijalima. Međutim, jako je malo proizvođača koji prave automobile sa aluminijumskim šasijama, uglavnom pri konstruisanju vozila viših klasa, pa inženjeri u automobilskoj industriji prilikom projektovanja koriste aluminijum kao pomoćni metal, na mestima gde je potreban. Svaki kilogram upotrebljenog aluminijuma je bitan, jer on predstavlja uštedu od 0.5 kg, pa se prosečna upotreba aluminijuma u Evropi popela sa 40 kg (1990.), na 160 kg koliko iznosi u 2013. godini. Evropa je u ovom pogledu par koraka ispred ostalih kontinenata, prevashodno zbog svojih oštrih politika o zagađenju životne okoline.

Evropska aluminijumska organizacija (EAA) sprovela je veliki broj istraživanja vezanih za aluminijum i njegovo korišćenje u automobilskoj industriji. Rezultati jednog takvog istraživanja biće predstavljeni u sledećim graficima i daljem tekstu. Odabran je *veliki uzorak* automobila različitih kategorija, kako bi se na najbolji način utvrdilo u kojim klasama su ostvarene najmanje uštede, a u kojima najveće. Pored toga, na *grafiku 10* predstavljena je redukovana lista vozila iz uzorka, poređana gradacijski od vozila sa najmanjom količinom aluminijuma, do onih sa najvećom količinom upotrebljenog aluminijuma pri dizajniranju novog automobila. Automobil koji se trenutno, serijski proizvodi za najvećom masom aluminijuma od čak *561 kg* zove se *Land Rover Range Rover*. Model se proizvodi od 2013. godine, i predstavlja produkt veoma dobrog inženjeringa, čiji je jedan od glavnih ciljeva bilo smanjenje prevelike mase njegovog predhodnika. *Jaguar* se istakao kao kompanija koja najviše koristi aluminijum kod svojih novih automobila, prateći ga određen broj evropskih proizvođača. Obzirom na veoma obimnu prodaju određenih modela, upotreba aluminijuma u modelima *BMW serija 3 i 5*, kao i *Mercedesu E klase*, predstavlja čak **10% ukupne automobilske upotrebe aluminijuma.** Samo za pravljenje modela BMW 3, godišnje se iskoristi blizu 80.000 t aluminijuma! Na *grafiku 11* upoređena je upotreba po klasama, pa je najveća upotreba od *16% (290 kg)* zabeležena kod modela E kategorije *(Audi A8, Mercedes S klase, Jaguar XJ..)*, dok je očekivano najniža kod vozla A kategorije (*Renault Twingo, Mini Moris..).* Rezulatat ovakve prirode očekivan je iz prostog razloga, a to je cena. Naime, za tonu aluminijuma mora se izdvojiti čak tri puta više novca nego za tonu čelika, pa se skuplji aluminijum dosta slabije koristi kod vozila kod kojih je upravo jedan od presudnih parametara pristupačnost i što manja cena. Kod automobila koji su u cenovnom rangu od 50 pa do više stotina hiljada evra, dodatni trošak aluminijuma lako se kompenzuje, pogotovu uzimajući u obzir sve prednosti koje za sobom donosi. Naravno, pored evidentih vrlina koje za sobom donosi aluminijum, na sledećoj stranici pažnja će biti posvećena još jednoj studiji koja se bavi bezbednošću vozila i trebalo bi da odgovori na neka od najbitnijih pitanja prilikom projektovanja novog automobila. Studija se bazira na referentnoj čeličnoj konstrukciji prednjeg dela prosečnog vozila C kategorije, koja se poredi sa ekvivalentnom aluminijumskom konstrukcijom. Vrše se merenja pri uvrtanju i savijanju različitih elemenata sistema, kao i pri direktnom sudaru konstrukcije sa čvrstom, ravnom barijerom.

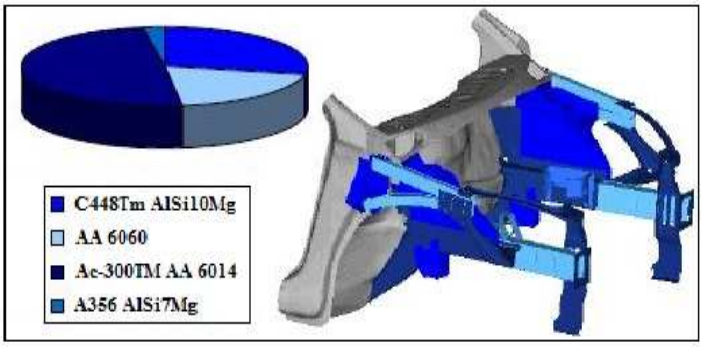


Grafik 10. Upotreba aluminijuma po proizvedenom automobilu

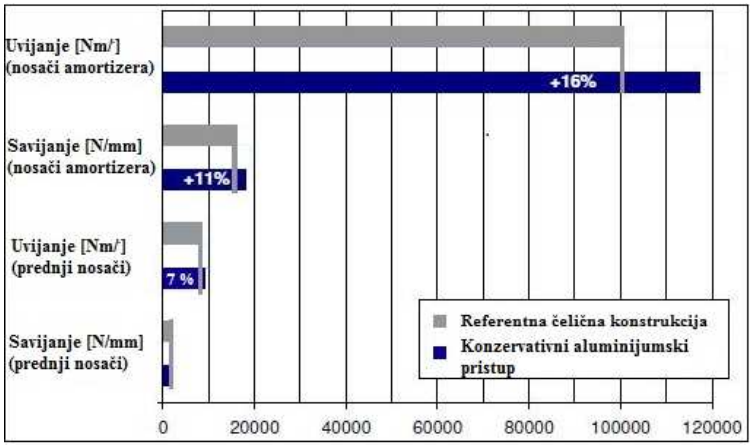


Grafik 11. Upotreba aluminijuma po kategorijama u procentima

Za konstruisanje prednjeg dela od aluminijuma, korišćene su legure prikazane na *slici 25,* čijom upotrebom ostvarena je masa pomenutog dela od 21.54 kg, što je rezultat za 14.73kg manji od referentne čelične konstrukcije. Ovakav rezultat predstavlja smanjenje mase od čitavih 40%, pa je od krucijalne važnosti da aluminijum u ovim testovima dobije jednake, ako ne i bolje rezultate. Prvi od testova odnosi se na merenja vrednosti savijanja i uvijanja na karakterističnim tačkama ove konstrukcije, a to su prednji nosači i nosači amortizacije (gornji kraj amortizera). Na ove delove primenjene su različite sile, pa je tako sila savijanja bila u rasponu od 1834 N (prednji nosači) do 10788 N (amortizacija) i od 2106 Nm (prednji nosači) do 3000 Nm (nosači amortizera). Na *grafiku 12* prikazana su merenja sa procentualnom razlikom. Jasno se može videti tamno plava linija koja je u svakom testu pokazuje veće vrednosti, tj. veću otpornost od referentne konstrukcije napravljene od čelika. Sledeći test, bitnije prirode vezuje se za apsorbovanje sile prilikom čeonog sudara sa čvrstom barijerom, pri brzini od 28.27 km/h, gde se merila količina oslobođene energije prilikom udesa, kao i deformacija konstrukcije u milimetrima. Sistem prilikom udesa imao je masu između 1400 kg (aluminijumska konstrukcija) do 1415 kg (čelična) jer su konstrukcije zakačene za čelično telo kako bi se dobila prosečna masa vozila C kategorije. Iako je ostvarena ušteda u masi konstrukcije od 40% (15 kg), ovaj podatak je zanemarljiv jer 15 kg manje mase utiče tek neznatno na količinu oslobođene energije celog sistema od oko 1400kg. Energiju od *43.62 kJ* uspešno je apsorbovala čelična konstrukcija pri totalnoj deformaciji od *256mm.* Neznatno manju energiju od 43.16 kJ aluminijumska konstrukcija uspešno je amortizovla sa 12 % manje deformacije, tj. *225mm*! Celih **31mm** manje od čelične konstrukcije, što znači da je vozilo moglo istrpeti još veće sile a da deformacija ne pređe onu koju je pretrpela čelična konstrukcija pri sličnoj sili. Na *slici 26* prikazano je poređenje apsorbovanja sile između ovih konstrukcija u realnom vremenu, gde je na slici u prvom redu konstrukcija od čelika, a u drugom od aluminijuma

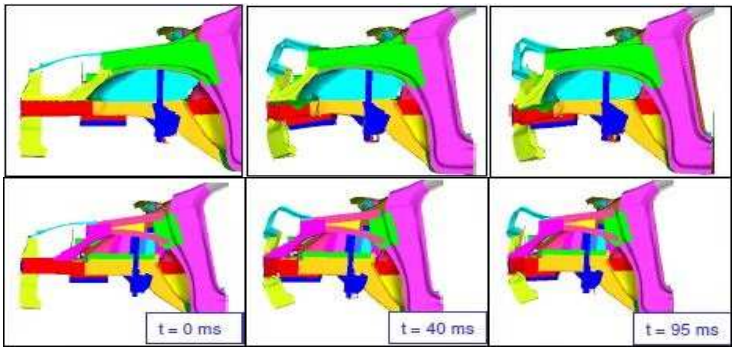


Slika 13. Aluminijumska konstrukcija



Grafik 12. Rrazlike između dve konstrukcije

Svi podaci dobijeni ovim istraživanjem idu u korist aluminijumu, koji pored svoje neverovatno lagane strukture ima i veoma dobru moć apsorbovanja, nije krt, pritom se i lako oblikuje pa je pri izgradnji ovakve konstrukcije bilo projektovano čak 15 delova manje nego kod slične čelične konstrukcije. Zbog svoje male mase moguće je projektovati automobile sa dužim „zonama gužvanja“, kako bi vozila imala veće šanse da aktivno apsorbuju sile prilikom udesa, kako bi bila bezbednija.



Slika 26. Deformacija dveju platformi

Vozila manje mase nose znatno manje energije pa bi se olakšavanjem automobila, a produžavanjem zone gužvanja, moglo zna tno uticati, ne samo na bezbednost putnika u njima, već i na eventualne saučesnike u saobraćajnoj nezgodi.

6.4.3 SUMIRANJE

Kada je u pitanju metal aluminijum i njegova upotreba u automobilskoj industriji, skoro i da se ne može naići na neku od loših karakteristika, osim, možda, cene. Velika rasprostranjenost, lakoća proizvodnje, dobro antikorozivno dejstvo, velika toplotna i električna provodljivost, velika elastičnost i izdržljivost i sve to dolazi u pakovanju veoma male mase. Njegove funkcije i primene na automobilu gotovo su neograničene, od malih šrafova, matica i polugica, do samih šasija, karoserija i delova tela. Potencijalno smanjenje mase je izuzetno veliko, a pravilnim dizajniranjem mogu se napraviti vozila koja su daleko upravljivija, boljih performansi, štedljivija, sigurnija i zdravija po okolinu.

Iako je evidentan porast prosečne upotrebe aluminijuma u automobilima, treba biti naglašeno da se on koristi u većim kategorijama vozila, dok u nižim kategorijama može i te kako pokazati svoj potencijal, ali tek kada cena proizvodnje nešto opadne. Vozila ovih kategorija zauzimaju najveći broj registrovanih vozila, gde današnje konkurentno vreme zahteva od proizvođača da ponude automobile određenih performansi i autonomije, što je moguće samo uz efektivno smanjenje mase, za šta se najlakše može pobrinuti najjeftiniji konkurent čeliku, aluminijum.

Treba istaći i veoma zanimljiv podatak da se upotrebom aluminijuma može direktno uticati na cenu proizvodnje električnih automobila! Smanjenje mase od 188 kg tela jednog električnog auta, toliko smanjuje potrošnju struje da se u autmobil mogu ugra-diti baterije za 3.3 kWh manjeg kapaciteta, a da automobilu ostane identičan domet pri punim baterijama. Računica je prosta, ovakvo olakšavanje auta iziskuje oko 1000€, dok je cena baterija oko 500€ /kWh (3.3 kWh x 500€ = **1650€)**, pa je ostvarena moguća ušteda od čitavih 650€. Neminovno je povećanje upotrebe aluminijuma pri konstruisanju novih automobila, jer su sve bliži datumi strogih normi o potrošnji fosilnih goriva i poluciji životne sredine koje uzrokuje veća masa vozila, pa aluminijum predstavlja trenutno najjeftiniju i već dobro proučenu alternativu čeliku, kojom je moguće ostvariti efektivna smanjenja. Međutim, ineteresovanja za različitim materijalima koji smanjuju masu sve su veća, pa je pitanje da li će se, trenutno odlično stojeći aluminijum, izboriti sa materijalima čija usavršavanja tek dolaze i koje će se ulagati možda i više vremena i novca, čije vreme tek dolazi.

7. KOMPOZITNI NEMETALNI MATERIJALI

Od celokupne mase jednog novog automobila samo 20% odlazi na upotrebu različitih nemetalnih materijala, pa bi valjalo pomenuti da se adekvatnom upotrebom odgovarajućih može tek neznatno uticati na redukciju mase. Određeni metalni delovi mogu se u praksi zameniti plastičnim, na mestima gde to dozvoljavaju njihove fizičke karakteristike, što pomaže daljoj redukciji mase. Jedini materijal koji može drastično smanjiti masu a povećati čvrstoću automobila, materijal koji će biti i konkurent ranije pomenuti metalnim materijalima su *ugljenična vlakna*. Od ugljeničnih vlakana mogu se napraviti različiti delovi , ali takođe i sam skelet automobila, karoserija.

Pored ovog materijala biće pomenute i različite funkcije i vrste pastika i stakla, od kojih se može očekivati određeno smanjenje mase, ali i poboljšanje komfora, istrajnosti ali i bezbednosti automobila. Uopštena upotreba plastike ne zna za granice, koristi se u najrazličitijim procesima i najlakše se može modifikovati za sopstvene potrebe.

Kao i kod metalnih materijala i kod nematelnih cena igra veliku ulogu, a razlike u ceni, ali i kvalitetu plastike najbolje se mogu uočiti pri kupovini automobila različitih cenovnih klasa. Ali opet ti troškovi su samo delić onog koji donosi sa sobom upotreba ugljenočnih vlakana, jer je njihova proizvodnja skuplja i do petnaest puta od proizvodnje čelika. U daljem tekstu, pored ostalog, biće odgovoreno da li ovakvu cenu mogu opravdati veoma dobre fizičke karakteristike vlakana, ili se pak radi o tehnologiji koja ima još veliki put do „faze zrelosti“ .

7.1 UGLJENIČNA VLAKNA

7.1.1 UOPŠTENO

Ugljenična vlakna, sintetički materijal koji se sastoji iz vlakana prečnika 5-10 µm izgrađenih pretežno od atoma *ugljenika (C)* učvršćenih u svoju kristalnu rešetku. Veoma pravilan raspored ugljenikovih atoma i formiranje kristalne rešetke, doprinosi velikoj čvrstini svakom mineralu u čijem sastavu se nalazi, kao i svakom materijalu. Kao polazna sirovina za dobijanje ugljeničnih vlakana koristi se *poliakrilnitril (PAN)*, polukristalna organska polimerska smola (C_3H_3N.), koji se peče na temperaturi od oko 300°C. Izlaganje ovakvoj temperaturi doprinosi oksidizaciji materijala raskidajući najveći deo hidrogenskih veza, menjajući totalno unutrašnji raspored atoma. Dalje, ovakav materijal ubacuje se u peći sa kontrolisanom atmosferom (od argona) i peče se na temperaturama 1500-3000°C, u zavisnosti od osobina koje bi trebalo biti postignute. Naime, zagrevanjem na temperaturi 1500-2000°C vrši se *karbonizacija*, koja rezultuje velikom zateznom čvrstoćom od maksimalnih *5650MPa*, a



Slika 14. Najlakši bicikl (2.7 kg, ugljenična vlakna)

zagrevanjem na temperaturi 2500-3000°C vrši se *grafitizacija*, čiji je proizvod slabiji ali dosta elastičniji materijal. Naime, jedan od problema korišćenja ugljeničnih vlakana u atomobilskoj indistriji jeste upravo ta „krtost".

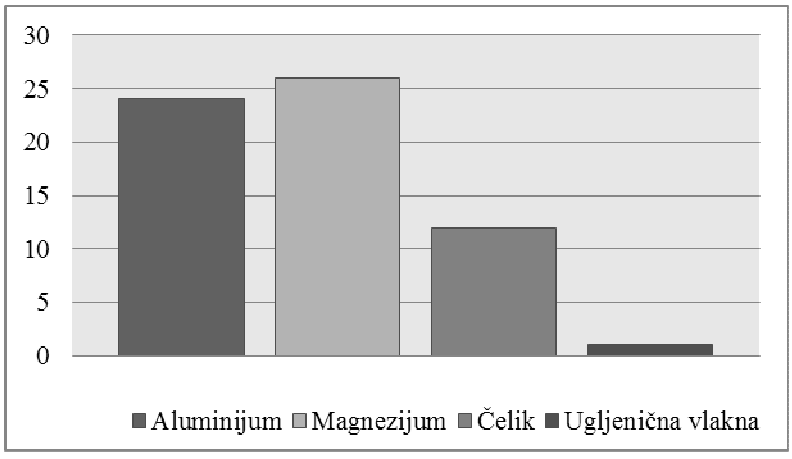
Materijal može da izdrži jako velike sile, ali ako dođe do prekoračenja limita, ugljenična vlakna pucaju bez upozorenja, nema skoro nikakvog savijanja.

Što se tiče ostalih fizičkih karakterisitka, mogu se pohvaliti izuzetno malom gustinom od svega *1700 kg/m*^{3}, a dodavanjem određenih elemenata postiže se materijal dobre provodljivosti i izuzetno dobre tolerancije na toplotu. Vodo neprobojna su i imaju odličnu osobinu amortizacije vibracija, kao i veoma ograničeno toplotno širenje.

7.1.2 ANALIZA

Veliki broj proizvođača superautomobila može se pohvaliti upotrebom ugljeničnih vlakana. Određeni ih koriste kao sekundarni materijal, ograničena upotreba, uglavnom dolazeći do smanjenja mase preko velikog broja malih zamenjenih delova, dok ih drugi koriste za samu osnovu automobila- *šasiju.* Proizvođači kao što su *Koenigsegg, Pagani, McLaren* nikada nisu konstruisali automobil a da on nije imao šasiju napravljenu od ugljeničnih vlakana. ***McLaren F1*** prvi je serijski proizveden automobil sa šasijom napravljenom od ugljeničnih vlakana, i važi za jedan od najboljih sportskih automobila ikada. Pored vlakana, korišćeni su u velikoj meri titanijum, kao i magnezijum, pa je veoma fascinatan podatak da je masa celog vozila iznosila samo 1300kg (radi se o 1992. godini). Veliki broj automobila poslednje generacije, tehnički najnaprednijih i najinovativnijih još ne može da meri svoje performanse sa ovom ikonom superautomobila.

Naravno, ugljenična vlakna mogu se koristiti kao metrijal za izradu određenih delova, od tela automobila, poput haube i prtljažnog prostora, pa do sve do velikog broja delova unutrašnjosti (veoma lako se oblikuje). Pogodna su za pavljenje upravljača, poluge menjača, instrument table, čak i za izgradnju sedišta. Jedna od pozitivnih karakteristika o kojoj se ne priča previše je sposobost ugljeničnih vlakana da se odupru toploti i da za drže svoj oblik, rezultujući veoma visokim tačkama ključanja i topljenja. Na *grafiku 5* može se videti razlika u toplotnom širenju između analiziranih materijala, gde ugljenična vlakna imaju daleko manje rezultate od konkurencije. Ovakav rezultat doprinosi stabilnijim karakterisitkama pri ekstremnim temperaturama, kao i manjoj mogućnosti eventualnih oštećenja uzrokovanih toplotnim širenjem i skupljanjem.



Grafik 13. Toplotno širenje materijala na 20°C (x 10^{-6})

Obzirom da se ugljenična vlakna mogu dobiti na

različite načine, ciljajući na različite karakteristike, pažnja u narednom delu biće posvećena najbitinijim konkurentnim karakteristikama, a to su *zatezna čvrstoća (MPa), elastičnost (GPa) i gustina (kg/m^3).*

U zavisnosti od temperature i načina zagrevanja polimerskih smola, mogu se dobiti moduli koji koji dostižu vrednosti i do blizu ***6000 MPa*** (mega čvrsti čelik – 1500MPa), međutim ovakvi moduli smatraju se krtim. Njihova elastičnost iznosi oko 200 GPa (*Mg 45, Al 70, Ti 120 i čelik do 200 GPa*). Da bi ugljenična vlakna bila konkurentna u automobilskoj industriji, proizvode se moduli koji su manjih čvrstoća ali veće elastičnosti. Tako, primera radi, modul *Toray T700G* ima čvrstoću vlakana 4900 MPa i elastičnost od 240 GPa, dok celokupni kompozit ima čvrstoću od *2350 MPa* i elastičnost od *140 GPa,* rezultat koji se mora detaljno prokomentarisati. Naime, najveća čvrstoća čelika koji je u upotrebi trenutno iznosi oko 1500 MPa. Takav čelik koristi se jako retko, jer je njegovo dobijanje poprilično skuplje od običnog, mekog čelika. Meki čelik, sa druge strane, koristi se u 95% slučajeva i njegova čvrstoća iznosi maksimalnih 550 Mpa. Dakle, modul T700G firme *Toray,* ima više nego 4 puta veću čvrstinu od najkorisnijeg čelika u autoindustriji danas. Ta čvrstoća dolazi uz par pogodnosti. Ovaj modul ima veću elastičnost od čelika (140 GPa< 200 GPa; *manja vrednost znači veću elastičnost, guma ima vrednost 0.1 GPa dok dijamant oko 1200*), što znači da na bolji način vrši amortizaciju energije nastale prilikom sudara (čeliku se dodaju delovi od magnezijuma i aluminijuma kako bi se produžile „zone gnječenja“, tj. poboljšalo apsorbovanje energije).

Najveća razlika upotrebe ugljeničnih vlakana izražava se kroz *gustinu.* Gustina čelika iznosi pomenutih *7850 kg/m^3*, dok gustina ugljeničnih vlakana predstavlja samo njen delić i iznosi samo *1750 kg/m^3*, što je identičan rezultat dosad najlakšeg konkurenta, *magnezijuma.* Pored ovih karakteristika, postoji još nekoliko koje nisu u toj meri značajne, ali predstavljaju bitne pogodnosti. Velika toplotna provodljivost, otpornost na koroziju i hemijske reakcije, i jedna veoma bitna osobina, lakoća oblikovanja i brzina dobijanja. Naime, od ugljeničnih vlakana mogu se napraviti delovi svih veličina i oblika, nešto što je nezamislivo ne samo čeliku, već i ostalim, lakše oblikujućim konkurentima. Uz to, da bi se napravili delovi od vlakana koriste se se različiti kalupi, a vreme koje je potrebno za izradu je drastično manje u odnosu na sve metalne konkurente. Za izradu ćelije šasije automobila McLaren MP4-12C, prikazane na *slici 28,* potrebno je samo 4 sata (teži samo 75 kg !). Korišćenjem ugljeničnih vlakana potpomažemo jednostavnost, smanjujemo broj delova, smanjujemo mogućnost da nešto pođe naopako. Jedan modul napravljen od čelika može sadržati i desetine delova, dok kod ugljeničnih vlakana možemo taj isti modul izliti u jednom komadu, pri čemu se lične pozitivne karakteristike samo mogu povećati.



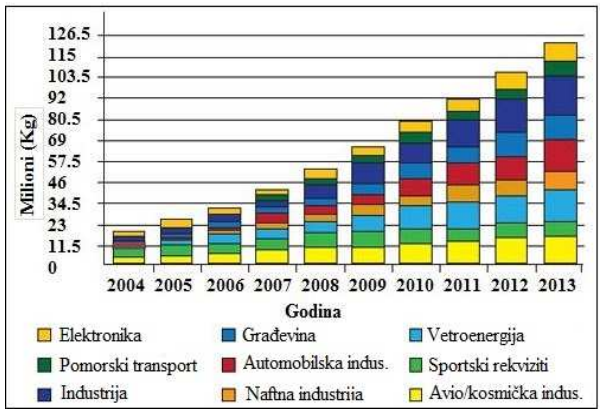
Slika 15. Ćelija šasije automobila McLaren MP4-12C

Međutim, kao i svaki materijal na planeti Zemlji, i ugljenična vlakna imaju svoje nedostatke. Jedan od bitnijih nedostataka predstavlja nemogućnost potpune reciklaže, tj. ugljenična vlakna mogu se reciklirati, ali se takva ne mogu koristiti ponovo u autoindustriji već za neke manje zahtevne poslove u građevini. Nemogućnost potpune reciklaže pomaže trenutno najveći problem vezan za upotrebu ugljeničnih vlakana u automobilskoj industriji, a to je cena. Cena proizvodnje tone konkurentnih materijala i njihovo uzajamno poređenje prikazano je u delu „titanijum“, gde se jasno može videti da je cena proizvodnje vlakana

čak i do 15 puta skuplja od cene proizvodnje čelika. Procesi proizvodnje se menjaju, smanjuje se nastanak škarta, koriste se nove tehnologije, sve više se proizvode, tako da cena proizvodnje ugljeničnih vlakana u poslednjih pet godina polako, ali sigurno opada. Stručnjaci smatraju da će vlakna biti konkurentna onog trenutka kada cena proizvodnje bude iznosila oko 5€/kg (trenutno oko 8€/kg), što i nije tako daleko budući da je pre nekih 10 godina iznosila i preko 20 €/kg!

7.1.3 SUMIRANJE

Tehnologija ugljeničnih vlakana je relativno nova tehnologija, nasuprot tehnologiji dobijanja različitih vidova metala, pa je ona u punom razvoju, u koju se ulažu velika sredstva radi poboljšanja karakteristika i komercijalizacije. Kao i svaka tehnologija i ugljenična vlakna će u jednom trenutku dostići kulminaciju , u kom periodu će se najviše proizvoditi i prodavati. Da li je taj taj trenutak blizu ili vlakna mogu da prože mnogo više nego što trenutno znamo, vreme će pokazati. U ovom trenutku jedino je jasno da se u proteklih deset godina potrošnja ugljeničnih vlakana povećala oko šest puta, što se jasno može videti na *grafiku 14*, Potrošnja pojedinih sektora iz 2013. godine ima veću vrednost nego ukupna potrošnja u 2004. godini. Među velikim potrošačima nalazi se i automobilska industrija, koja u protekle četiri godine beleži pojačan rast u potrošnji. Međutim, kao što je i ranije pomenuto, vlakna se uglavnom rezervisana za skupe automobile veoma velikih cena i ograničenih serija, pa je upotreba i dalje minimalna u odnosu na čelik. Takođe, zbog ekstremnosti svojih vrednosti i cene proizvodnje, koristi u različitim sektorima na mestima na kojima je jednostavno neophodan, dok bilo gde gde se može iskoristiti jeftinija zamena, iskoristiće se. Zato i ne čudi podatak da , iako u naglom porastu, potrošnja ugljeničnih vlakana na godišnjem nivou iznosi oko **120.000 t**, što predstavlja delić proizvodnje čelika u proteklih pet godina, čiji prosek iznosi **1.500.000.000 t/god.** Godišnja potražnja čelika u automobilskoj industriji iznosi oko **120.000.000 t,** što predstavlja broj koji hiljadu puta veći od celokupne potražnje ugljeničnih vlakana. Zato je i evidentna razlika u ceni proizvodnje ova dva materijla, pa se iščekuje pad cene dobijanja ugljeničnih vlakana, kako bi ova tehnologija bila konkurentnija.



Grafik 14. Potrošnja ugljeničnih vlakana godišnje

Njena upotreba u automobilskoj industriji, po predviđanjima različitih stručnjaka, doživeće znatno povećanje u skorijoj budućnosti, ali nikad neće dostići da bude standard, da većina automobila bude napravljena od njih. Pored evidentnih prednosti koje ima u odnosu na konkurenciju, veoma verovatno, zbog preniske cene dobijanja čelika, nikada neće moći u potpunosti da iskoristi svoj potencijal na polju redukcije mase automobila, i svih prednosti koje ona donosi sa sobom. Međutim, postoje i oni stručnjaci koji gledaju malo dalje u budućnost, kada će efikasnost i sigurnost biti dve najvažnije stvari, koji kažu da vreme ugljeničnih vlakana i sličnih kompozitnih materijala, tek dolazi.

Obzirom da se dobijanje osnovne komponente ugljeničnih vlakana vezuje za naftu, iz koje se dobija, a nafta predstavlja veoma ograničen resurs, evidentna je činjenica da je

ova tehnologija direktno povezana sa cenom a i samim postojanjem nafte. Kako nafte ostaje sve manje, cena će joj se povećavati, kao i cena ugljeničnih vlakana, dok jednog dana se ne isprazne i poslednje rezerve, ili ostanu rezervisane za druge sektore, što će označiti stupanje u fazu zastarelosti, i gašenje tehnologije. Zato nauka konstantno napreduje, stalno se traže bolja i efikasnija rešenja zbog ograničenja razlitih resurasa, kako bi se što više postiglo a što manje materijala uložilo.

7.2 PLASTIKA

7.2.1 UOPŠTENO

Svakodnevno se susrećemo sa različitim oblicima plastike, materijalima koji se uspešno koriste za najrazličitije funkcije i uloge. Primenu su našli u skoro svakoj grani privrede, u velikom broju tehnologija i kao sastavni element velikog broja procesa i sistema. Njena raznolika fizička i hemijska svojstva, lakoća i cena dobijanja, doprinele su takvom širenju. U zavisnosti od polaznih sastojaka i načina obrade, plastike koje se dobijaju mogu biti različitih osobina, od veoma čvrstih do veoma mekanih, od izdržljivih do slabih, različitih oblika, tekstura, otporne na grebanje, mogu aktivno smanjivati buku, vibraciju, toplotu.. Mogu biti providne, obojene, lako se oblikuju i lako dobijaju, pa pored svih svojih karakteristika ima i veoma nisku cenu proizvodnje. Dakle, veoma velika raznovrsnost upotrebe dovela je plastikui u automobile, te je još 1939. napravljen prvi plastični automobil *Pontiac*. Od tada se količina, kvalitet i funkcija plastike u automobilima kostantno menjala, napredujući velikom brzinom zbog relativno jeftinog procesa dobijanja plastike.

Danas automobilska industrija predstavlja veoma dobro tržište plastike, pa je u 2012. godini potražnja iznosila **7.100.000 t**, za koju je zaslužno čak 7 različitih kategorija plastike:

PP (Polipropilen) – 37% ; PU (Poliuretan) – 17.3% ; ABS (Akrilonitril butadin stiren) – 12.3 % ; Kompoziti – 11.5 % ; HDPE[20] (Polietilen velike gustine) – 10.8 % ; PC (Polikarbonat) – 6.8% ; PMMA (Polimetil metakrilat) – 4.4 %.

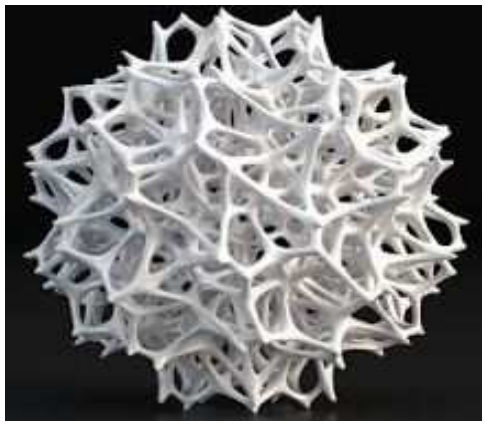
Svaka od ovih kategorija ima različite fizičke i hemijske osobine pa je i upotreba veoma podeljena u zavisnosti od zahtevanih karakteristika. Tako npr. plastika koja prekriva stop svetla većine automobila pripada PMMA plastici, koju karakteriše lako oblikovnje, mogućnost providnosti i bojenja, laganost i skromna izdržljivost. Drugačiji vidovi koriste se u unutrašnjosti, gde su opet tražene neke potpuno druge karateristike. Mekaniji materijali, veće debljine, neprozirni sa određenim dodatnim otpornostima na vodu, temperaturu, buku i širenje. Obzirom na raznovrsnosti kompleksnost plastika korišćenih u automobilu, neće biti detaljno objašnjavane karakteristike i funkcije ovih vrsta plastika, jer je to posebno kompleksno, pa bi studija otišla u drugačijem pravcu.

Plastika može zameniti određen deo delova napravljenih od metala, pa je teoretski moguće eventualno smanjenje mase auta, pogotovu ako se koriste plastike modernih karakteristika, uz određeno variranje u karakteristikama sistema. Uglavnom se može doprineti boljem komforu, zvučnoj i toplotnoj izolaciji, kvalietu završne obrade i sl. pa će u ovom delu pažnja biti posvećena jednom revolucionarnom tehnologijom, prvi put predstavljenom 1984. godine. Reč je o trodimenzionalnom (3D) štampanju, koje je poslednjih godina jako napredovalo, te je svoju primenu našlo i automobilskoj industriji.

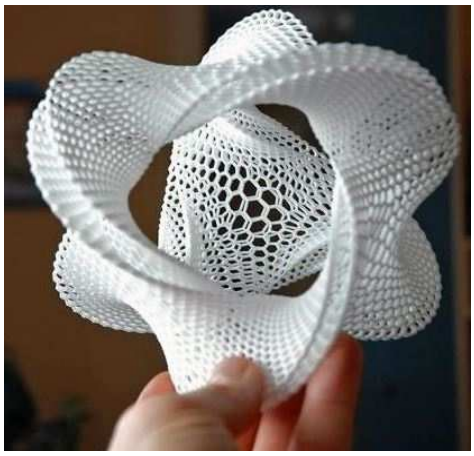
[20] Anrico Casadei and Richard Broda, Impact of Vehicle Weight Reduction on Fuel Economy for Various Vehicle Architectures, SAD 2007.

7.2.2 3D AUTO ŠTAMPANJE - URBEE

Tehnologija 3D štampanja predstavlja jedan inovativan ali i revolucionaran proces. Ona omogućava da se uz veoma malo uloženih resursa dobije proizvod čije bi dobijanje nekom drugom tehnologijom bilo veoma skupo i teško, ako ne i nemoguće. Dakle prvo se napravi model u CAD okruženju, veoma velike rezolucije sa akcentom na detaljima, zatim računar to rastavlja na slojeve i šalje 3D štampaču. Ova vrsta štampača može u relativno kratkom roku da dobije završni produkt, za početak plastičnu igračku ili vazu, a kasnije veoma kvalitetne zamenske delove vašeg automobila. Mogu se koristi različite vrste plastika, mogu se čak i kombinovati u jednom štampanju. Dakle, prostom kombinacijom crne i bele ABS plastike, može se dobiti proizvod zavidnih fizičkih karakteristika, u boji koja se nalazi u spektru između bele i crne, dakle bilo koja nijansa sive, kao i dvotonsko štampanje. Na *slici 29* prikazan je rezultat jednog standardnog 3D štampanja, gde se jasno može uočiti kopleksnost predmeta. Da bi se ovakav predmet napravio potrebno je nacrtati ga u CAD okruženju, a to je osnova svakog dizajniranja. Samo štampanje vrši se brzim pokretima mlaznice napred-nazad, koja u tankim slojevim nanosi plastiku, formirajući ovakav predmet nakon samo par minuta. U zavisnosti od složenosti zahtevanog predmeta, 3D štampači mogu se naći u različitim oblicima i dimenzijama, pa je moguće štampati predmete dužine i do jednog metra, težine do 200 kg. Postoje određene kompanije koje su ovu tehnologiju implementirali u svoje procese, ali uglavnom kao jeftin i brz način dobijanja maketa određenih delova ili automobila. Dakle, štampanje 3D objekata u automobilskoj industriji zasad je rezervisano sa 3D pregled važnih stvari koje bi se kasnije našle u automatizovanoj proizvodnji. Prvi čovek koji je upotrebio tehniku 3D štampanja za pravljenje tela nekog automobila je *Jim Kor*, a ideja koju zastupa zove se ***Urbee***, pokušaj najefikasnijeg i „najzelenijeg“ automobila na svetu. Koncept ovog automobila veoma je prost : čista jednostavnost i efikasnost. Klasičan hibridni sistem, dva elektromotora montiranih na prednjim točkovima kao pomoć pri ubrzanju, i jedan mali motor sa unutrašnjim sagorevanjem koji kao gorivo troši *etanol*, koji se pali pri konstantnim brzinama, kada nema velikih ubrzanja. Ovakav sklop ima za zadatak da pređe put od istočne do zapadne obale SAD-a (4767 km), pri brzini od 110 km/h, sa samo 37.85 L etanola, trošeći u proseku ***0.81L/100km.*** Motor na ovom automobilu ima samo 8 Ks, a tim se nada da će u skorijoj budućnosti uspeti da



Slika 29. Objekat štampan 3D tehnologijom



Slika 30. Objekat štampan 3D tehnologijom

ugrade efikasan motor od samo 2 Ks. Kako je sve ovo moguće? Tu na scenu,pored veoma dobrog inženjeringa, stupa i 3D štampanje. Motor i telo ovog automobila napravljeni su od metala, dok je njegovo telo napravljeno od plastike i to 3D štampom. Na ovaj način uspeli su da održe masu automobila minimalnom, konstruišući telo koje je automobilu omogućilo najmanji otpor vazduha ikada zabeležen kod automobila – **0.15 G.**

Automobil je dugačak 3 m, i pored svojih dimenzija ima samo 545 kg, masa koja predstavlja idealan balans dobrih fizičkih karakteristika i sigurnosti na putu (jak bočni vetar). Za pravljenje celokupnog auta potrebno je oko 2500 sati. Štampanje 3D tehnologijom potpomoglo je slobodu u dizajniranju kako bi se dobilo što efikasnije vozilo. Obzirom da je projekat *Urbee* započet još 1996. godine, sada je u najavi projekat Urbee II, koji koristi jednu još revolucionarniju tehnologiju. Radi se o 3D štampi metalnih predmeta, pa je najavljeno da će Urbee II[21] biti auto koji će imati celokupnu spoljašnjost, ali u unutrašnjost štampanu 3D tehnologijom. Naravno, kada se radi o tehnologijama u razvoju, bezbednost je na prvom mestu, pa će mehanički sklop ostati neštampan, tj. biće napravljen kao kod predhodnog modela. Ove tehnologije razvijaju se velikom brzinom, pa je pitanje vremena kada će biti moguće 3D štampanje agregata ili aluminijumskih felni. Na *slici 32* možemo videti umanjeni model Urbee, maketa u razmeri 1:6, kao i jedan 3D štampač u pozadini. Štapači su sve veći i komplikovaniji, sposobni za različite zadatke za kokve se sumnjalo da su mogući. Naime, kada se ovakva tehnologija koristi i unapređuje kako bi se na najlakši i najjeftiniji način proizvodili predmeti *potrebni* čovečanstvu, onda je to u redu. Ovakva tehnologija može se veoma lako zloupotrebiti, mogu se kounstruisati predmeti štetni i smrtonosni. Pre dve godine američka vlada izbrisala je sa interneta postavljene fajlove sa šemama 3D oružja, koje je mogao iskoristiti svako ko je imao 3D štampač u tom trenutku. Dakle, skinete fajl sa interneta, pritisnete „štampaj“, i za desetak minuta imate spremno vatreno oružje bez ikakve dozvole. To nije u redu. Međutim mi ljudi funkcionišemo na taj način, svaka tehnologija koja se primeni za nešto „dobro“, kasnije veoma lako može biti preobražena u nešto „loše“. Mi se nalazimo u vremenu gde svaka nova tehnologija može biti koliko korisna, toliko i štetna, pa se mora posebno voditi računa o tome.



Slika 31. Jim Kor i Urbee



Slika 32. Umanjeni model Urbee

Urbee predstavlja klasičnu definiciju efikasnog automobila: mali i efikasan agregat, aerodinamično telo i *mala masa.* Mala masa predstavlja ključ naše potrage za efikasnošću, bezbednošću, upravljivosti i smanjenjem štetnog uticaja autmobila na životnu sredinu. U kombinaciji sa efikasnim agregatima koje pokreće neki vid alternativne energije, kao i aerodinamičnom telu i materijalima koji se mogu reciklirati, može se konstruisati autmobil

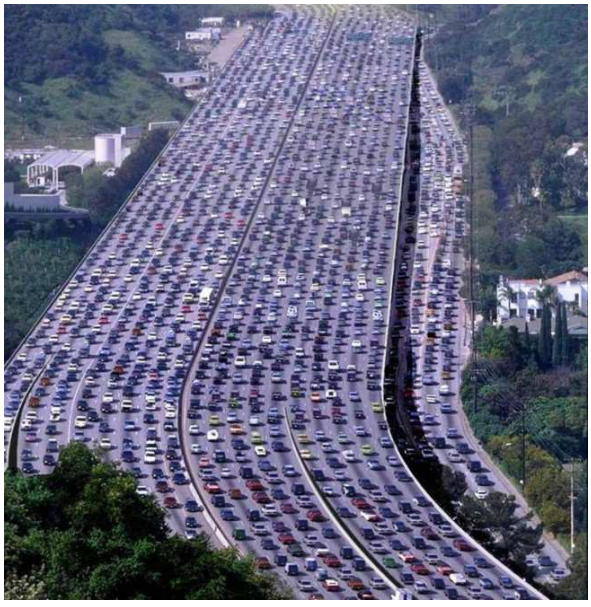
[21] Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Ali Emadi, Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles, SAD 2010.

kome je potrebno vrlo malo energije za pokretanje, a tu energiju može uzimati direktno iz našeg okruženja. Solarni i vetro kapaciteti su iskorišćeni tek neznatno, pa se očekuje veliki rast njihove upotrebe i narednim decenijama.

7.2.3 SUMIRANJE

Plastika predstavlja veoma bitan element pri konstrukciji automobila, međutim njena bitnost odlikuje se na nekim drugim poljima, ne tako bitnim za ovaj rad. Opšti utisak kvaliteta, poboljšano upijanje vibracija, buke i toplote, ograničeno toplotno širenje[22], otpornost na grebanje predstvaljaju veoma važne karakteristike na vašem autu. Zamenom savremenijim i skupljim plastikama može se ostvariti određeno smanjenje mase, međutim neko osetno smanjenje može se primeniti kroz zamenu određenih metalnih delova plastičnim, gde karakteristike to dozvoljavaju. Smanjenje se može ostvariti i pravilnim konstrusianjem i 3D štampanjem, pa se može izbeći komplikovano korišćenje velikog broja delova. Konstruisanjem jednog dela, tačno utvrđenih dimenzija i performansi može se u određenoj meri uticati na smanjenje mase, kao i poboljšanje generalnih karakteristika.

Pored plastike, u manjoj meri mogu uticati i različiti oblici guma i stakala. Guma može takođe poboljšati određene fizičke karakteristike vozila, međutim može tek neznatno uticati na redukciju mase. Zamenom odgovarajućih stakala, sa druge strane, možemo napraviti pristojne uštede. Zamenom samo šoferskog stakla može se ostvariti smanjenje buke u kabini od čak 3dB[23], uz uštedu u masi od 2.5 kg i smanjenjem potrošnje od 2.7 L/god i ispuštanjem 6.6 kg manje CO_2 u atmosferu svake godine. Zamenom i bočnih prozora stvara se akustička prednost od čak 5dB, dok je očekivano smanjenje potrošnje 10.5 L/god, a ostvarena ušteda u emisijama iznosi oko 30 kg CO_2 godišnje. Taj podatak možda ne zvuči puno, međutim pravilom velikih brojeva kada bi se ova cifra pomnožila sa brojem registrovanih vozila ***samo*** u Srbiji za 2012. godinu (2.300.000), dobija se cifra od skoro 70.000 t/godišnje manje ispu-štenih CO_2 u atmosferu. Da ne pominjemo ukupan broj registrovanih vozila u svetu, gde samo u Kini ima preko 200.000.000 registrovanih vozila, od toga čak 85 mil. automobila. Pravilnim inženjeringom i upotrebom svih materijala mogu se konstruisati vozila koja će u abnormalnim merama redukovati potražnju sa fosilnim gorivom, smanjiti ispuštanje svih gasova u atmosferu i smanjiti efekat staklene bašte, ali učiniti naša vozila daleko bezbednijim. Tehnologija 3D štampanja otvara nove mogućnosti i pitanje je vremena kada će biti iskorišćena na pravi način i potpomoći neutralizaciji globalnog zagrevanja, povećanju efikasnosti ali i naše bezbednosti.



Slika 33. Gužva na putu

[22] Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Ali Emadi, Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles, SAD 2010.

[23] Institut für Kraftfahrwesen Aachen, Optimised aluminium vehicle front section, Germany 2006

8. DUEL: BMW X5 vs. ALFA ROMEO 4C

U poglavlju 8, na konrektnom primeru dva auta koji će se naći u duelu, na najbolji način biće demonstrirane razlike koje su opisane i objašnjene u prethodna tri poglavlja, a tiču se problema i indikacija nastalih prekomernom masom auta. Okršaj je između dva, na velikom broju polja, različita automobila, od namene, uloge i funkcije sa jedne strane, zatim mase, veličine agregata i performansi sa druge strane. Prvi takmičar, suvereni vladar evropskih autoputeva, najpopularniji SUV svih vremena, standard u klasi, BMW X5. Sa druge strane nalazi jedan novitet, auto koji je zvanično predstavljen na salonu automobila u Ženevi marta ove godine, kupe, kabriolet i dvosed, Alfa Romeo 4C. Alfa Romeo će se zvanično naći u prodaji od januara 2014. godine, dok je BMW X5 sa nama skoro 15 godina, od 1999. godine.

U *tabeli 1* biće upoređene brojke i podaci koje se smatraju relavantnim za ovaj rad, koje se direktno tiču problema automobila sa viškom kilograma, opisivanim u prethodnim poglavljima, a kroz dalje opisivanje objasniti suštinsku razliku između ova dva auta. Razlike između ova dva modela su velike i brojne, na veoma različitim poljima. Pored evidentne razlike u masi, pažnja će biti posvećena i odabiru agregata, zatim odnosu snage i mase, ubrzanju, zaustavnom tragu i maksimalnoj brzini, motornoj efikasnosti, ali i procenjenim ekološkim ciframa. Radi se o primeru konstantnog usavršavanja i poboljšavanja (BMW X5) protiv potpuno novog, savremenog dizajna od nule (Alfa Romeo 4C), kako bi na najbolji način bilo ukazano na nužnost potpunog redizajniranja vozila i „downsizinga“-a.

8.1 UOPŠTENO

BMW X5 (E70, 2006-danas), SUV automobil poznat po dobrim voznim karakteristikama, kako na asfaltnom putu tako i van njega, sa velikim međuosovinskim rastojanjem i visokim težištem predstavlja dobar recept kako treba da izgleda udobna i komforna vožnja. U protekle 3 godine proizvedeno je i prodato preko 300.000 vozila, od kojih redom 2010. godine 102.178, 2011. godine 104.822 i 2012. 108.544 vozila. Mogućnost izbora velikog broja motora kao i standardne i dodatne opreme, potpomoglo je takvu prodaju. Od velikog broja motora, od kojih se neki smatraju i najboljim u svojim klasama, za duel je izabran motor zapremine **3.0 L sa 272 Ks**, motor koji se ugrađivao u vozila do 2009., koji je onda dorađen i dodat



Slika 34. BMW X5 3.0si (E70)

mu je turbopunjač, pa se od od 2009. godine kao takav nalazi ispod hauba i još uvek je aktuelan. Njegov protivnik je automobil koji na mnogo načina predstavlja njegovu suprotnost, sportski kupe Alfa Romeo 4C, sa izvanrednom masom od samo **895 kg.**

Alfa Romeo 4C, model čija zvanična prodaja počinje u januaru 2014. godine, iako je proizvodnja počela nedavno. Impresivna pojava, jedna od zvezdi ovogodišnjeg sajma automobila u Ženevi, kupe sa zavidnim sportskim karakteristikama. Jedna od najbitnijih činjenica je i ta da ovaj auto ima šasiju napravljenu od ugljeničnih vlakana, daleko lakšeg i izdržljivijeg od čelika, i njena celokupna težina iznosi impresivnih **65 kg**, koja u kombinaciji sa aluminijom i drugim kompozitnim metalima male gustine rezultuje pomenutom masom od samo 895 kg. Model 4C ima agregat zapre-mine **1742cm^3** sa dodatim turbo-punjačem, jačine **240Ks,** koji u kombinaciji sa menjačem sa dvo-strukim kvačilom rezultuje potro-šnjom od **6.8 L/100km**. Motor je smešten pozadi zbog bolje raspodele mase, pa je 40% na prednjoj a 60% na zadnjoj osovini. Montiran je nisko zbog niskog težišta, i sve to u kombinaciji sa pogonom na zadnjim točkovima, daje ovom kupeu pravi osećaj u vožnji sa odličnim sportskim karakteristikama. Pored ovog agregata, za 2015. godinu najavljen je i turbobenzinski motor zapremine **1.8 L**, ukupne jačine **300Ks.**



Slika 3516. Alfa Romeo 4C 1.75 T

U duel ulazi sa prednošću dugog i skupog planiranja i dizajniranja, sa pažnjom posebno posvećenom smanjenju mase i postizanja što većeg uživanja u vožnji, dok je BMW još uvek na istoj platformi od 2006. Buduća generacija X5 modela će zasigurno biti dosta lakša, jer BMW takođe ulaže dosta sredstava u usavršavanje aluminijumskih šasija. BMW-ova **M divizija** je dokaz inženjerskih postignuća u kreiranju laganih, okretnih i snažnih automobila, koji na stazama važe sa automobila sa najvećom preciznožću.

U delu analiza biće upoređene neke karatkeristične brojke i podaci, neke evidentne razlike nastale razlikom u dimenzijama i masi, pa će ova dva veoma različita autmobila poslužiti kao dobra osnova za poređenje. Jedini razlog zbog kojeg se model BMW X5 poredi sa modelom Alfa Romeo 4C a ne nekim jednako lakim autom opremljenim ekonomičnim trocilindričnim agregatom, je taj da ovaj model ima jako dobre sportske karakteristike, sa maksimalnom brzinom od preko 250 km/h. Dakle, downsizing-om auta ne gubi se na uživanju u vožnji, na-protiv, dobija se puno, automobil je okretniji i upravljiviji, sigu-rniji, sa dobrim performansama i to dobijeno agregatom zapremine od tek 1.75L, potrošnje 6.8 L/100km, kontrarno audijevom **V10 5.2L agregatu od 580Ks**, koji **Audiju RS6** pruža slične



Slika 17. Audi 5.2L V10

performanse (model C6, 2008-2010) uz prosečnu potrošnju od preko **15 L/100km.**

8.2 ANALIZA

Deo vezan za analizu biće započet najevidentinijom razlikom između ova dva automobila, masom vozila. BMW X5 se može ponositi nekim osobinama, ali ne i masom od čitavih 2.125 kg, koja ga svrstava u sam vrh teških automobila. Od automobila Alfa Romeo 4C očekivana je manja masa, zbog svojih kompaktnijih dimenzija, međutim inženjeri iz Italije uspeli su da je svedu na čitavih 895 kg, rezultat zbog kojeg su unapred rešili mnoge probleme. Upotrebom ugljeničnih vlakana, aluminijuma i drugih kompozitnih materijala male gustine postignut je veoma zavidan razultat, vrlo verovatno i benčmark budućih konkurentnih kupea. Na osnovu ove stavke, moguće su ostale razlike koje se mogu videti u *tabeli 1*:

Tabela 1. Specifične razlike dva automobila

	Alfa Romeo 4C		**BMW X5 3.0si**
Zapremina	1742 cm^3		2997 cm^3
Turbopunjač	DA		NE
Snaga	240 Ks		272 Ks
0-100 km/h	4.5 sek		8.1 sek
V max	258 km/h		210 km/h
Potrošnja	6.8 L/100 km		10.2 L/100 km
Emisija CO_2	157 g/km		244 g/km
Masa	**895 kg**		**2125 kg**
Dimenzije	3989 x 2090 x 1183		4854 x 1933 x 1776
Međuos. Rastojanje	2380 mm		2933 mm
Snaga / Masa	268 Ks/t		128 Ks/t
100 km/h - 0	36 m		39.6 m
Cena vozila	oček. 50-60.000 €		50-60.000€

Na prvi pogled može se uočiti razlika u zapreminama ova dva agregata. Iako daleko manje zapremine, Alfin agregat sa dodatim i uvek poželjnim turbopunjačem daje čitavih 240 Ks, rezultat za oko 30 Ks manji od rezultata BMW-ovog kandidata. Obzirom na svoju malu masu, ovaj rezultat je i više nego dovoljan za pristojne sportske performanse malog Alfinog kupea. Auto će ubrazati 0-100 km/h za samo 4.5 sekundi, teritorija mnogo skupljih superautomobila, i nastaviti da ubrzava do maksimalnih 258 km/h ! BMW X5 će dostići „stotku“ za 8.1 sekundu i svoju maksimalnu brzinu od 210 km/h**,** što je više nego značajna razlika. **Dakle, motor od 1.75 L i 240 Ks je dovoljan da jedan auto od 900 kg lansira do 100 km/h za 4.5 sekunde, rezultat za 0.2 sekunde bolji od ubrzanja koje postiže BMW X5 M, sa motorom zapremine 4.4 L sa dva turbopunjača, jačine 555 Ks, i masom celokupnog auta od 2380 kg !** Ovakvo vozilo u Srbiji ima početnu cenu od čak 132.500 €. Između modela X5 3.0si i X5 M uočena je dodatna razlika u masi od 255 kg, od

čega manji deo odlazi na dodatnu opremu a veći na sam motor, jer gabaritno i zapreminski veći motor znači sigurno povećanje mase.

Model 4C ima savremeni menjač sa dvostrukim kvačilom, komponentu koju ima većina novih sportskih automobila, menjač koji može da obezbedi daleko brže ali i ekonomičnije menjanje brzina. Jedno kvačilo zaduženo je za neparne brzine, dok je drugo zaduženo za parne, tako da je jedno kvačilo uvek spremno za brzo menjanje brzina koje kontrolise elektronika. U kombinaciji sa motorom male zapremine, postignuta je potrošnja od prosečnih 6.8 L benzina, što je gotovo za 3.5 L manje od prosečne potrošnje modela X5 3.0si. Možda 6.8 L/100km ne zvuči tako puno jer se danas reklamiraju autmobili koji imaju obećane potrošnje od oko 4 L na svakih 100 km, međutim za vozilo sa ovakvim performansama to je izuzetno niska potrošnja. Ovu potrošnju prati emisija štetnog CO_2 gasa od 157 g/km, koji u poređenju sa BMW-ovih 244 g/km može uštedeti čak 87 g/km, što za jedan prosečan vek automobila u Srbiji iznosi čak :

87 g/km * 200.000 km = 17.400.000 g = **17.4 t CO_2 uštede**

BMW X5 3.0si može se pohvaliti odnosom snage i mase od 128 Ks/t, rezultat koji se ne smatra lošim za putničke automobile, međutim model 4C ima više nego duplo veći odnos od 268 Ks/t, odnos koji je odličan za jedan mali, sportski auto. Sa takvim odnosom Alfa Romeo 4C nalazi se ispred svoje konkurencije, i ne samo na tom polju, pa je zato u *tabeli 2* prikazano mesto ovog auta u odnosu na njegovu konkurenciju:

Tabela 2. Alfa Romeo 4C protiv konkurencije

	Alfa Romeo 4C	Lotus Elise S	Lotus Evora	Porsche Cayman
Zapremina	1.75 L	1.8 L	3.5 L	2.7 L
Turbopunjač	DA	DA	NE	NE
Snaga	240 Ks	217 Ks	276 Ks	275 Ks
0-100 km/h	4.5 sek	4.6 sek	5.2 sek	5.6 sek
V max	258 km/h	234 km/h	256 km/h	264 km/h
Potrošnja	6.8 L	7.5 L	9.0 L	7.7 L
Emisija CO_2	157 g/km	175 g/km	210 g/km	180 g/km
Masa	**895 kg**	**924 kg**	**1436 kg**	**1415 kg**
Dimenzije	3989 x 2090 x 1183	3824 x 1719 x 1117	4350 x 1848 x 1229	4380 x 1801 x 1294
Međuos. Rastojanje	2380 mm	2300 mm	2575 mm	2475 mm
Snaga / Masa	268 KS/t	235 KS/t	192 KS/t	194 KS/t

Tržište kaže da je model 4C direktan konkurent modelu Lotus Elise S, najjačoj verziji osnovnog modela Lotus Elise, automobil koji je dugo bio poznat po malim dimenzijama i motorima male zapremine, ali solidnim performansama. Lotus Evora i Porsche Cayman spadaju u istu kategoriju, dakle mali, sportski kupei, međutim njihov pristup je potpuno drugačiji, većih su dimenzija i koriste se agregati velikih zapremina, pa se razlika u tabeli jasno vidi. Alfa Romeo 4C u svakoj koloni je za nijansu bolji od direktnog konkurenta, a posebno bih istakao da je situacija takva uprkos Alfinim većim dimenzijama. Cena u

odnosu na glavnog konkurenta će biti neznatno viša, ali opet jeftinija od Lotus Evora-e i Porsche Cayman-a, dok se očekuje slična cena u odnosu na duelistu BMW X5.

Podatak koji je ostavljen za kraj analize, a tiče se našeg duela i *tabele 1*, upravo je podatak o zaustavnom putu i stabilnosti. Pri poređenju dimenzija naša dva auta, jasno se može videti najbitnija razlika u širini i visini. Alfa je 15.7cm šira a čitavih **59.3 cm** niža, što je pokazatelj da je 4C daleko stabilniji, gotovo bez mogućnosti prevrtanja zbog daleko nižeg težišta i sportskijeg ogibljenja. Što se kočenja tiče, BMW X5 3.0si od 100 do 0 km/h zaustavlja se za 39.6 metara, rezultat koji i nije tako loš obzirom na celokupne dimenzije ovog automobila, jer ovako težak automobil mora imati mnogo jače i veće kočnice i potreban je jači pritisak na papučicu da bi se efikasno zaustavilo vozilo. Alfa 4C nema tih problema zbog svoje male mase i efikasnih kočnica, koje je zaustavljaju 3.6 m kraće od BMW-a, za samo **36 m** ! Razlika od 3.6 m u stvarnom životu može predstavljati razliku između života i smrti.

8.3 SUMIRANJE

U delu anliza ovog poglavlja uporedili smo dva potpuno različita automobila, SUV terenac BMW X5 3.0si i mali sportski kupe Alfa Romeo 4C, čiji je osnov za poređenje bila razlika u masi. Tokom razrade ustanovljeno je da postoje značajne razlike između njih, za koje su odgovorne velike dimenzije najpopularnijeg SUV-a, kao i korišćenje agregata velikih zapremina bez turbo punjača, sa jedne strane, i rezultat dobrog inženjeringa, planiranja i dizajniranja italijanskih stručnjaka koji su uspeli da naprave model koji će verovatno poslužiti kao uzor drugim proizvođačima i postati svojevrsni benčmark. Pri poređenju performansi ustanovili smo da poprilično manji, ali neznatno slabiji Alfin agregat, daje mnogo bolje rezultate, čak i po pitanju ekologije i potrošnje. Mala masa je odgovorna za mogućnost instaliranja ovakvog agregata, a materijali korišćeni pri izradi auta, osim što su lakši, daleko su izdržljiviji i čvršći, pa se ovaj smatra veoma bezbednim i procenjuje se maksimalan broj poena na testovima bezbednosti. Bezbednosti, ali i upravljivosti doprinosi i nisko težište, kao i pravilna raspodela mase, jer 60% mase je smešteno na pogonskoj, zadnjoj osovini, što rezultuje boljem ležanju na putu i boljim držanjem u krivinama. BMW X5 je automobil koji je dugo sa nama i vremenom je postao najpopularniji SUV na svetu, definicija vozila te klase, pa se ovo poglavlje ne treba shavtiti kao omalovažavanje ovakvog auta, već je njegova masa upotrebljena za dokazivanje različitih teorija po pitanju male mase automobila. Ovo je sjajan automobil koji je opravdao svoju titulu, i na svu sreću njega njegova zamena će uskoro biti predstavljena, osvežena, na kojoj će se naći pozamašan broj elemenata napravljenih od aluminijuma, pored brojnih tehnika smanjenja mase, motori će biti osveženi i zategnuti, pa su i očekivane manje cifre potrošnje goriva i emisije štetnih gasova. Očekuje se i nova platforma napravljena od aluminijuma, međutim najavljen je rast u dimenzijama vozila, pa će samo vreme pokazati da li će BMW X5 postati malo ekonomičniji, lakši i moderniji, i da li će biti prijateljski raspoloženiji prema prirodi, kao što se očekuje od sledeće generacije jednog ovakvog giganta.

9. ZAKLJUČAK

U prethodnim poglavljima analizirane su brojne situacije, vezane kako za putničke, tako i sportske automobile, gde je višak mase kao glavni uzrok problema bio njihova direktna veza. Kroz različite primere koje se tiču kako upravljivosti, zaustavljanja i ubrzanja, tako i potrošnje goriva, emisije štetnih gasova pa čak i bezbednosti, razloženo je i različitim formulama dokazano da **višak mase automobila negativno deluje na sve ispitivane aspekte, i uočena je urgentnost drastičnog smanjenja, koje podrazumeva redukciju mase i do 30%. Smanjenje mase dalje omogućava upotrebu lakših manjih i štedljivijih agregata koji dodatno mogu pozitivno uticati na potrošnju, kao i na ekologiju. Uočeno je takođe da manjak mase automobila utiče pozitivno na celokupnu bezbednost u saobraćaju, jer vozila manjih masa pri jednakim brzinama nose daleko manje količine energije od onih sa većom masom.**

Da bi se masa automobila smanjila što je više moguće, određeni materijali bili su upoređivani sa dosad najkorišćenijim materijalom u automobilskoj indistriji – **čelikom**. Čelik dugi niz godina vlada ovom teritorijom zbog dokazane izdržljivosti i snage, ali i jeftine cene. Kao glavni konkurenti analizirani su i objašnjeni metali sa svojim legurama **titanijum, magnezijum i aluminijum,** kao i nemetalni materijal **uglejnična vlakna.** Svaki od ovih materijala ponaosob imao je brojne prednosti u odnosu na čelik.

Neke prednosti ogledale su se u većoj izdržljivosti i snazi, neke u fleksibilnosti i mogućnosti boljeg apsorbovanja sila. Neki su stabilniji na većim temperaturama i bolji izolatori. Ali svi do jednog bili su otporni na koroziju, i najbitnije, **dosta lakši.** Glavni problem na koji nailazimo prilikom substitucije čelika nekim drugim materijalom je **cena.**

Tabela 3. Smanjenje mase novog auta do 2035. godine

Opis	Sastav benzinskig vozila - 2010		Zamena materijala - 2035		Redizajn vozila - 2035		"Downsizing" - 2035	
Materijal	kg	% masa	kg	% masa	kg	% masa	kg	% masa
Čelik								
Konvencionalni čelik	692	42.9%	228	17.6%	205	17.6%	186	17.6%
Čelik velike čvrstine	194	12.0%	273	21.1%	246	21.1%	221	21.1%
Nerđajući čelik	29	1.8%	20	1.5%	18	1.5%	16	1.5%
Drugi čelik	14	0.8%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Gvožđe	168	10.4%	35	2.7%	31	2.7%	28	2.7%
Aluminijum								
Liveni aluminijum	113	7.0%	200	15.4%	180	15.4%	162	15.4%
Kovani aluminijum	29	1.8%	222	17.2%	200	17.2%	180	17.2%
Guma	76	4.7%	52	4.0%	47	4.0%	42	4.0%
Plastika / kompoziti	131	8.1%	141	10.9%	127	10.9%	114	10.9%
Staklo	50	3.1%	34	2.7%	31	2.7%	28	2.7%
Drugi metali								
Bakar	26	1.6%	17	1.3%	16	1.3%	14	1.3%
Cink	4	0.3%	3	0.2%	3	0.2%	2	0.2%
Magnezijum	5	0.3%	10	0.9%	10	0.9%	10	0.9%
Drugi metali	20	1.3%	14	1.1%	13	1.1%	11	1.1%
Drugi materijali	65	4.0%	45	3.4%	40	3.4%	36	3.4%
TOTAL	**1.616 kg**	**100.0%**	**1294 kg**	**100.0%**	**1.166 kg**	**100.0%**	**1050 kg**	**100.0%**

Zato stručnjaci smatraju da iako ima materijala sa ekstremnijim vrednostima, najveća je verovatnoća da će određeni deo čelika u skorijoj budućnosti biti zamenjen aluminijumom, zbog odličnih karakteristika, a samo duplo skupljom cenom proizvodnje. Evropska unija propisuje sve strože norme i regulative vezane za potrošnju fosilnih goriva i emisiju štetnih gasova, pa se govori o neophodnosti redukcije potrošnje goriva do 2035. godine. Kako je ovo teoretski moguće, prikazano je u *tabeli 3*.

Prostom zamenom materijala može se ostvariti ušteda u masi od 322 kg (20%), redizajniranjem vozila od nule ostvaruje se ušteda od dodatnih 130 kg (30%). Ako se govori o downsizing-u (kolona 3), govori se o neznatnom smanjenju spoljašnjih dimenzija, zatim smanjenju zapremina ali i samih agregata, pravilnim konstruisanjem i korišćenjem što manje materijala kako bi se dobili što bolji rezultati. **Ovakvim pristupom može se uštedeti alarmantnih 560 kg (35%) u odnosu na prosečnu masu automobila sa benziznskim agregatom!** Ovakav pristup neophodan je u budućnosti, jer se samo na ovakav način može drstično uticati na potrošnju fosilnih goriva i emisije štetnih gasova.

Ovakvo smanjenje mase, bez prethodnog modifikovanja i smanjivanja agregata, rezultuje smanjenjem potrošnje od 50 % i redukcijom štetnih gasova za neverovatnih 70 % ! Ovo su alarmantne brojke, koje u kombinaciji sa novim, efikasnijim i štedljivijim agregatima stvarno mogu da promene trenutno užasno lošu situaciju zagađenja izazvanih transportom, kao ubrzanim trošenjem nafte, veoma ograničenog resursa.

Da li će neki od ovih materijala napredovati još više, ili će se pak pojaviti neki novi i još bolji materijali, u ovom trenutku niko ne zna. Aluminijum će makar produžiti vreme korišćenja nafte, pomoći u određenoj meri obnavljanje ozonakog omotača, barem dok se ne smisle neki novi, daleko efikasniji vidovi transporta.

Svaki kilogram je bitan, mislite o tome.

10.LITERATURA

[1] **Ana Salome Avelas Ferreira Pinto,** Evolution of weight, fuel consumption and CO_2 of autimobiles, Portugal 2009.

[2] **Don Nardo, Steven Shropshire,** Kinetic Energy: The energy of motion, SAD 2007

[3] **Lynette Cheah, Christopher Evans, Anup Bandivadekar & John Heywood**, Factor of Two: Halving the Fuel Consumption of New U.S. Automobiles by 2035, SAD 2007.

[4] **Kromer, M. A. and J. B. Heywood,** Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet, SAD 2007.

[5] **Small, K. A. and K. Van Dender,** Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect, SAD 2006.

[6] **U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration,** Vehicle Weight, Fatality Risk and Crash Compatibility of Model Year 1991-99 Passenger Cars and Light Trucks, SAD 2003.

[7] **John Fenton, Ron Hodkinson,** Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design, 2001.

[8] **John German,** Weight reduction and Safety implications, France 2008.

[9] **Sanjay Patel, Aloke Prasad, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA),** Recent Test Program on Vehicle Compatibility, SAD 2008.

[10] **Tom Wenzel, Marc Ross,** The Weight Relationship between Vehicle Weight, Size and Safety, SAD 2008.

[11] **Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Ali Emadi,** Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles, SAD 2010.

[12] **James Halderman,** Automotive Fuel and Emissions Control System, SAD 2012.

[13] **Anrico Casadei and Richard Broda,** Impact of Vehicle Weight Reduction on Fuel Economy for Various Vehicle Architectures, SAD 2007.

[14] **Kelvii Wei Guo,** A Review of Magnesium/Magnesium Alloys Corrosion and its Protection, China 2010

[15] **Institut für Kraftfahrwesen Aachen,** Optimised aluminium vehicle front section, Germany 2006

[16] http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions

[17] http://www.nrdc.org/globalwarming

[18] http://www.wikipedia.org

[19] http://www.nhtsa.gov