

UTJECAJ RAZVOJA MATERIJALA NA RAZVOJ PROIZVODA

INFLUENCE OF MATERIAL DEVELOPMENT ON THE PRODUCT DEVELOPMENT

Veseli D.¹, Golubić S.²

¹HEP – Toplinarstvo d.o.o., Zagreb, Hrvatska

²Visoka tehnička škola, Bjelovar, Hrvatska

Sažetak: Kroz povijest možemo pratiti razvoj materijala i njihovu važnost u svagdanjoj upotrebi. U početku je čovjek uzimao materijale iz prirode, a tek u novijoj povijesti, koristeći kvantitativna znanja iz matematike, fizike, itd. otkrivaju se postupci za dobivanje suvremenijih materijala.

Broj novih materijala u upotrebi eksponencijalno raste, posebno posljednjih nekoliko godina. Neki primjeri revolucionarnih primjena materijala zasnovanih na znanstvenim istraživanjima jesu poluvodiči i silicijev čip u računalu, te optička vlakna za prijenos informacija.

Primjena novih materijala doista je široka i koncentrirana je na utjecaj u sportu, i to u Formuli 1 i u tenisu. Dok u tenisu izbor materijala utječe na rezultate i zdravlje sportaša, u Formuli 1 on je jedan od vitalnih čimbenika koji vozaču mogu spasiti život.

Glavne riječi: tehnički materijali, Formula 1, karoserija, ugljična vlakna, tenis, reket

Abstract: Through the course of history it is possible to trace back the development of materials and their significance in everyday use. In earlier times man simply took materials from nature and it was only later that, by the use of quantitative knowledge from mathematics, physics and the like, he found procedures for getting more modern materials.

The number of our materials in use is constantly increasing, particularly in the last several years. Some cases of revolutionary implementations of materials based on scientific research are semi transmitters and silica chip in the computer as well as optical fibres.

They have quite wide range of usage therefore we have concentrated on their role in sports especially Formula 1 and tennis. While in tennis that choice of materials has influence on health and performance of player, in Formula 1 it can play significant role in saving the life of the driver.

Key words: technical materials, Formula 1 (Formula one), chassis, carbon fibres, tennis, racket

1. UVOD

Čovjek u životu obično ne razmišlja o tome da su svi predmeti u njegovoj okolini načinjeni od nekog materijala. Čovjekov život, gledajući kroz povijest,

određen je postojanjem, razvojem i istraživanjem te proizvodnjom, preradom i primjenom različitih materijala.

Napredak civilizacije od njenih početaka usko je povezan s otkrivanjem, dobivanjem, preradom i oblikovanjem materijala u tvorevine koje mogu zadovoljiti neku ljudsku potrebu. Rana su razdoblja povijesti poistovječena s vrstom otkrivenog materijala ili s najčešće korištenim materijalima – za oružja, alate, posude, ukrase, nakit i slične predmete za svagdanju upotrebu. Od samih početaka život čovjeka bio je obilježen drvom, kamenom, kostima, kožom, dlakom i drugim materijalima izravno dobivenim iz prirode. Mnoga su razdoblja u ranoj povijesti čovječanstva upravo nazvana po "proizvodnim" materijalima koji su u njima dominirali, npr. kameno doba, bakreno doba, brončano doba, željezno doba. Današnje razdoblje otkrivanja, dobivanja i prerade materijala obilježava visok udio znanja, znanstvenih pristupa i metoda, kao i suvremenih postupaka.

Kvaliteta materijala i proizvoda sve manje ovisi neposredno o čovjeku, iako su iskustvo i vještine pojedinaca i dalje potrebni i nezamjenjivi. Broj, raznovrsnost i količina materijala stalno rastu – od masovne količine manjeg broja vrsta do današnjih vrlo velikih količina mnogobrojnih kombinacija tipova. Danas se procjenjuje da raspolažemo s više od sedamdeset tisuća vrsta tehničkih materijala [1].

Znanost i inženjerstvo materijala smatra se, uz genetiku, informatiku i telekomunikacije, generičkom vrstom znanosti. To znači da se rezultati istraživanja materijala i pripadnih tehnologija prenose u druge grane znanosti i tehnike – elektroniku, strojarstvo, itd., te dovode do razvoja novih proizvoda boljih svojstava.

Na primjeru sportova, automobilizma i tenisa bit će prikazano da su upravo razvoj materijala i njihov pomni odabir u izradi opreme jedan od ključnih čimbenika zbog kojih je sportašima kroz povijest omogućeno postizanje sve boljih rezultata te sigurnije bavljenje sportom.

2. KRITERIJI I SVOJSTVA MATERIJALA U AUTOMOBILIZMU I TENISU

Poznato je da su za dobre rezultate u sportu važni talenti i rad u profesionalnom okruženju. Ako pratimo rezultate tijekom više godina, možemo uočiti da su rezultati u

prosjeku sve bolji. Osim usavršavanja tehnike izvođenja određenoga udarca ili pokreta (ovisno o sportu), za to su jako zaslužni i materijali od kojih se izrađuju predmeti koje upotrebljavamo.

U nekim ekstremnim sportovima više ne govorimo samo o važnosti materijala radi boljeg rezultata, već su oni presudni za sigurnost sportaša te im mogu sačuvati zdravlje ili život.



Slika 1. Sudar bolida na trkačkoj stazi [2]

Ojačan i bolje proračunat kokpit uveden je 1981. godine, a četiri godine poslije obavezni "crash-test". Sedam godina poslije određeno je da prednja osovina ne smije biti iznad vozačevih nogu [3].

2.1. Kriteriji izbora materijala

2.1.1. Funkcionalnost i eksploabilnost

Najvažniji zahtjevi koji se postavljaju pri izboru materijala za proizvodnju sportske opreme vezani su uz **funkcioniranje** opreme ili od njenog dijela. Kada je riječ o automobilima za utrke, prilikom konstruiranja vrlo je važno uzeti u obzir zahtjeve u pogledu funkcioniranja cijele konstrukcije bolida i svakog pojedinog sklopa i dijela.

Zahtjev **eksploabilnosti** upućuje na ponašanje materijala u upotrebi gdje posebno treba brinuti o [4]:

- a) održavanju definiranih dimenzija i oblika konstrukcije – bitna su mehanička svojstva materijala
- b) održavanju cjelovitosti konstrukcije – otpornost za lom za koju su bitna mehanička svojstva materijala
- c) sprječavanju oštećenja površine zbog trošenja, korozije i sličnih procesa dotrajavanja

d) zadržavanju ostalih fizikalnih svojstava bitnih za održavanje funkcije proizvoda u vremenu njegove upotrebe

Ovi se zahtjevi izražavaju kroz traženu nosivost, trajnost, prikladnost za održavanje, a prije svega kroz sigurnost i pouzdanost. Osnovna svojstva materijala koja opisuju ove zahtjeve i kriterije izbora jesu: fizikalno-kemijska svojstva, mehanička otpornost (važno kod teniskih reketa), otpornost na trošenje i otpornost na djelovanje agresivnih medija, što je naročito važno kod trkaćih automobila.

2.1.2. Tehnologičnost

Ovdje se radi o sposobnosti materijala za obradu ili oblikovanje nekim tehnološkim postupkom.

Opća prikladnost za obradu obično se izražava preko tehnoloških svojstava kao što su: livljivost, rezljivost, oblikovljivost deformiranjem (na toplo ili hladno), spojivost: zavarljivost, lemljivost, prikladnost za lijepljenje; prikladnost za prevlačenje i zaštitu površine [4].

2.1.3. Standardiziranost – normiranost

Kriterij standardiziranosti odnosi se na potrebu primjene onih materijala koji su propisani normama. U opasnim sportovima kao što su utrke automobilima polazi se od nužnosti ispunjenja nekih zakona, propisa, normi i preporuka što se tiče obavezne primjene određenih vrsta materijala ili zadovoljenja specifičnih svojstava.

2.1.4. Recikličnost i uništivost materijala

Recikličnost i uništivost materijala općenito se odnosi na zahtjev izbora obnovljivih materijala gdje god je to moguće. Dakle, treba analizirati mogućnost prirodne razgradnje, tehnološku složenost prikupljanja, razdvajanja i recikliranja. Troškovi uništenja ili recikliranja su vezani uz pojedini materijal, odnosno proizvod ili dio proizvoda.

2.1.5. Estetičnost

Tržišno konkurentni proizvodi često se razlikuju i prema privlačnom izgledu koji uključuje boju, prozirnost, sjajnost, mogućnost jednostavnog i lijepog oblikovanja (zapravo predstavlja dio tehnologičnosti), željeno stanje površine (hrapavost ili tolerancija) itd.

2.2. Svojstva materijala potrebnih za izbor

Najpotpunija i najdostupnija skupina podataka o svojstvima materijala za proizvodnju sportske opreme proizlazi iz normiranih laboratorijskih ispitivanja tijela izvađenih iz gotovih dijelova. Time se dobivaju podaci koji imaju najveću važnost pri proračunu konstrukcija i izboru materijala. Ostali podaci dolaze iz praćenja u izradi i upotrebi u obliku povratnih informacija, te upotpunjuju sliku svojstava i naročito mogućeg ponašanja materijala za pojedine vrste sportskih proizvoda.

3. REZULTAT RAZVOJA PROIZVODA S RAZVOJEM MATERIJALA U BOLIDU FORMULE 1

Formula 1, skraćeno F1, smatra se najvišim rangom jednosjeda u utrkama motornih vozila. Temelji se na serijama utrka koje se održavaju na umjetno sagrađenim stazama (pistama) u tu svrhu, ili na zatvorenim gradskim ulicama. Svake godine rezultati utrka određuju dvije ljestvice pobjednika: ljestvicu najboljih vozača i ljestvicu najboljih konstruktora.

Za vrijeme utrka u Formuli 1 bolidi jure velikim brzinama po zakrčenim stazama i sudare je nemoguće izbjeći. Napredak u tehnologiji i stroga pravila sigurnosti doveli su do znatnog smanjenja ozljeda i smrtnih slučajeva u ovakvim nesrećama. Naravno, treba zapamtiti da primjenjivost rješenja za otpornost vozila u sudaru razvijenih u Formuli 1 nije manja ni u drugim oblicima prijevoza, kao što su vlakovi koji se kreću velikim brzinama, kamioni i putnički zrakoplovi.



Slika 2. Bolidi Formule 1 na stazi [5]

3.1. Sigurnost i mogućnost preživljavanja u utrkama Formule 1

Prijelazom s aluminijskih na karoserije od ugljičnih vlakana u utrkama Formule 1 povećan je interes za ponašanje materijala tijekom sudara. Ali kompozitni materijali pokazali su se mnogo sigurnijima od njihovih metalnih prethodnika.

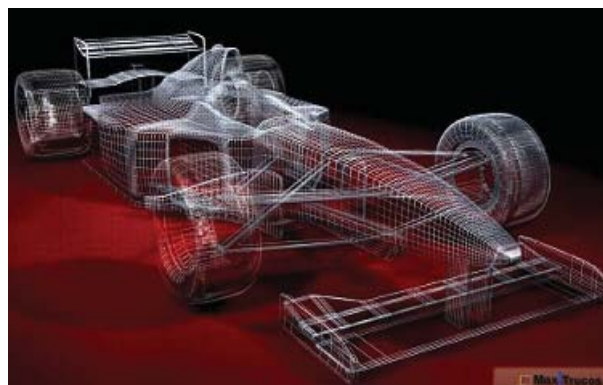
Da se poveća sigurnost, uvedeni su novi propisi u utrke Formule 1. Kao rezultat toga publika može vidjeti vozače kako izlaze neozlijeđeni iz „sudara s velikim mehaničkim oštećenjima svih vitalnih i nosivih dijelova konstrukcije automobila“ do razine neupotrebljivosti i prepoznatljivosti, koji bi prije nekoliko godina bili sigurno smrtonosni. Višestruko su uvećani naponi u cilju veće sigurnosti vozača u ovom sportu.

Poboljšanja sigurnosti u utrkama Formule 1 u posljednjih nekoliko godina izravna su posljedica visoke tehnologije primijenjene u konstrukciji bolida, kao i strogih propisa koje je nametnula međunarodna federacija za automobilizam.

3.2. Kompozitni materijali u bolidu Formule 1

Otpornost u sudaru modernog bolida Formule 1 posljedica je široke primjene pojačanih kompozitnih materijala od ugljičnih vlakana u konstrukciji samog bolida. Tehnologiju kompozitnih materijala u Formulu 1 uveo je 1980. godine McLarenov tim u suradnji s američkom korporacijom Hercules Aerospace Corporation [6].

Najnoviji tekstovi o motosportu sugeriraju da su kompozitni materijali u utrke Formule 1 uvedeni kao neizbježna posljedica razvoja tehnologija u proizvodnji zrakoplova.



Slika 3. Konstrukcija bolida Formule 1 [7]

Od raznih dijelova bolida zahtijeva se čvrstoća, dijelovi poput krilaca i šasije trebaju prenositi, a ne apsorbirati razne aerodinamičke i druge sile koje se javljaju. Treba reći da su naprezanja koja djeluju na bolid pri sudaru vrlo različita od onih koje se javljaju kod zrakoplova. U tom smislu McLarenov se prvi trkački bolid sa šasijom od ugljičnih vlakana pokazao vrlo uspješnim u odnosu na prethodna rješenja. Sposobnost popravka manjih oštećenja vrlo je dobra osobina kompozitnih materijala od ugljičnih vlakana. Bolidi izrađeni od ugljičnih vlakana osiguravaju visoki stupanj sigurnosti vozača i kod velikih mehaničkih oštećenja bolida, iako su ugljična vlakna krhka i pucaju pri vrlo malim istezanjima.

3.3. Apsorpcija energije

Pri projektiranju trkaćeg auta sposobnog da zaštiti vozača postavlja se zadatak osmisлити disipaciju deformativne energije sudara na takav način da ona što manje utječe na vozača.

Brzine sudara zanimljive pri proučavanju disipacije energije možemo podijeliti u tri odvojene grupe:

- brzine od 1 do 150 m/s

- ponašanje u sudaru određeno je ponašanjem materijala, ali i cjelokupnih struktura te uključuje sudare vozila koje je moguće preživjeti. Ovoj grupi pripadaju i brzine sudara bolida Formule 1;
- brzine od 150 do 1500 m/s
 - u sklopu proučavanja granične balistike vojne artiljerije, ponašanje u sudarima pri ovim brzinama većinom je određeno ponašanjem materijala i obično je ograničeno na okolinu udara;
- brzine veće od 1500 m/s
 - materijali isparavaju i krute tvari teku poput tekućina. Ovo je stanje poznato kao hiperbrzinski sudar i tiče se probijanja teških oklopa pomoću usmjerenih eksplozivnih nabojâ.

3.4. Utjecaj strukture kompozita

Svojstva apsorpcije energije (otpornost u sudaru) vozila načinjenih od kompozitnih materijala možemo pripisati proturječu "rad loma", koji proizlazi iz mehanizama koji se javljaju tijekom katastrofalnog loma. Svojstvena krhkost kompozitnih materijala osigurava da oni ne podlegnu procesima popuštanja karakterističnim za elastične metale, već se kao posljedice opterećenja elastično deformiraju do točke loma. Kompozitno tijelo se tijekom sudara raspada, i strukturalno i mikroskopski. Jedno od najatraktivnijih svojstava kompozitnih materijala u inženjerskom dizajnu mogućnost je oblikovanja njihovih mehaničkih svojstava prema specifičnoj primjeni. Ovo omogućuje velik stupanj iskorištenja primjene materijala, koji proizlazi iz veće snage i čvrstoće materijala.

3.5. Oblikovanje bolida u cilju veće sigurnosti vozača

Dijelovi raznih podsustava koji čine automobil moraju posebnim oblikovanjem osigurati maksimalnu krutost u normalnim radnim uvjetima i moraju biti dizajnirani tako da uvećaju otpornost na udarce, što se postiže povećanjem rada loma. Prilikom sudara poželjno je da materijali od kojih je načinjen bolid posjeduju sljedeća svojstva:

1. otpornost na oštećenja (što manje izobličenje materijala prilikom udara)
2. toleranciju prilikom oštećenja (mogućnost funkcioniranja pojedinog dijela bolida unatoč izobličenju)
3. apsorpciju energije (otpornost u sudaru)

Otpornost na oštećenja odnosi se na kapacitet materijala ili strukture da podnese udarac bez oštećenja. Tolerancija oštećenja opisuje sposobnost materijala da izdrži zadani specifični iznos oštećenja. Ukupna apsorbirana energija važan je parametar za otpornost u sudaru i odnosi se na sposobnost materijala da pretvori kinetičku energiju u energiju loma. Ugljična vlakna velike krutosti (HM –

vlakna) potrebna su samo u onim smjerovima u kojima je nužna torzijska krutost ($\pm 45^\circ$ od osi torzije). Vlakna srednje krutosti (IM – vlakna) mogu izdržati mnogo veća razvlačenja, a formiranje mješovite (hibridne) slojevite strukture može biti u svim smjerovima. Uz pomoć instrumenata za snimanje udarca na ispitnim uzorcima i optičkoga mikroskopa može se dobiti povezanost komponenti materijala uz najveću apsorpciju energije. Mehanika loma bavi se energijom potrebnom da raširi oštećenja u obliku pukotina unutar materijala. Žilavi materijali su oni u kojima je širenje pukotina teško, dok se u krhkim materijalima pucanje lako širi.

Dinamička testiranja koja koriste servo hidrauličku opremu nadasve su korisna budući da dopuštaju onome tko eksperimentira da procijeni jesu li udarne komponente sposobne izdržati utrku. Kada se kompletiraju analize u laboratoriju na malim uzorcima dizajniranim tako da možemo razumjeti obuhvaćene principe, tada ih možemo primijeniti na reprezentativnim strukturalnim komponentama. Tumačenju takvih rezultata treba pristupiti vrlo pažljivo budući da posljedice mogu biti vrlo složene.

3.6. Sigurnosni propisi

U Formulu 1 uvedeno je mnoštvo propisa koji se odnose kako na obavezu opremu vozača, tako i na njen način upotrebe, a sve u cilju povećanja sigurnosti. Vozači nose višeslojna odijela za zaštitu od požara i kacigu za sprječavanje ozljeda glave. Aparati za gašenje požara, neprobojni rezervoari za gorivo i vodovi goriva i ulja, stražnja svjetla za loše vremenske uvjete i električni izolacijski prekidači – svi zajedno služe da bi se povećale šanse za preživljavanje u slučaju sudara najvažnijeg dijela bolida – vozača. Sudari bolida u utrkama ili na treninzima rijetko se događaju s nepokretnim objektima. Većina nezgoda sadrži i stupanj rotacije i udarce kod odskakanja, tako da se energija rasipa i na druge načine, a ne samo u strukturi materijala.

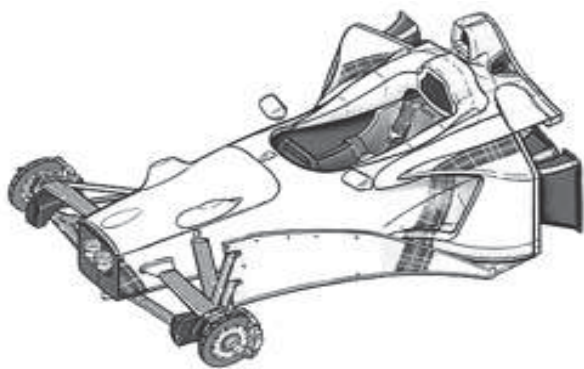
Mehanički odziv materijala i struktura pod velikim opterećenjima drukčiji su od odziva na statička opterećenja. U testiranju mogu postojati nedostaci, dakle moguće je da bolid zadovolji sve određene testove, a da još uvijek bude iznimno opasan pri sudaru.

3.7. Formula 1 kao tipičan primjer *monocoque* konstrukcije

Monocoque - francuska riječ za vrstu karoserije. Radi se o sigurnosnoj karoseriji izrađenoj od smjese ugljičnog vlakna koja tvori zaštitnu školjku oko vozača. Okružena je strukturama koje se mogu deformirati i koje apsorbiraju energiju u slučaju nesreće.

Monocoque konstrukcija uvedena je u "predkarbonsko" doba. Ovakva je (uvjetno rečeno) šasija postavila nove standarde u smanjenju ukupne težine bolida, podižući čak i čvrstoću cijele konstrukcije, a time i sigurnost vozača koja je u tim vremenima bila prilično krhka. Prve *monocoque* konstrukcije bolida Formule 1 bile su izrađene od aluminijskih limova, ali u osamdesetim su ih godinama zamijenili umjetni materijali (kevlar i karbon – ugljična vlakna). Put do "civilnih" automobila

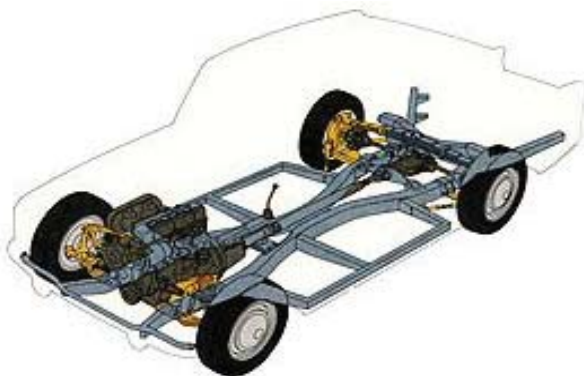
monocoque konstrukcijama još je uvijek veoma ograničen, prije svega zbog visoke cijene materijala i izrade. Doduše, još se veliki Colin Chapman (nekadašnji šef Lotusa F1) okušao prije tridesetak godina u izradi modela Elan sa staklo-plastičnom *monocoque* konstrukcijom. "Sreću" da budu ovako konstruirani imaju danas tek rijetki automobili poput Bugattija EB 110 i Ferrarija F 50 [8].



Slika 4. *Monocoque* od ugljičnih vlakana [9]

3.8. Upotreba određenih materijala za pojedine dijelove automobila

METAL – Od metalnih cijevi i šina nekada su se izrađivale šasije.

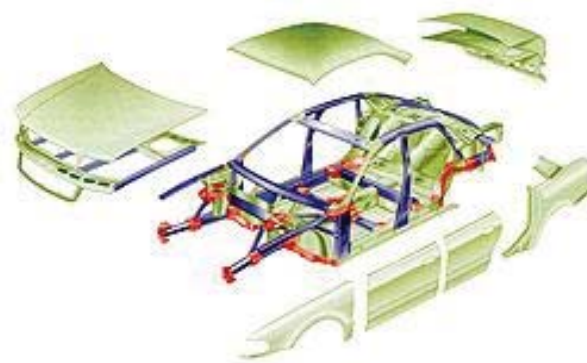


Slika 5. Osnova nekadašnjih automobila – šasija [9]

ALUMINIJ – Danas se šasije izrađuju od aluminija u kombinaciji s njegovim legurama. Aluminij se može do kraja iskoristiti za izradu cijelog automobila.

Pokušaj uvođenja aluminijske karoserije u masovnu proizvodnju nije potpuno završio. Ovaj materijal jamči jednostavno postavljanje različitih karoserija na istu platformu, čime je, bez mnogo zadiranja u proizvodni proces, moguće na zajedničkoj platformi načiniti nekoliko različitih modela automobila.

Ako su aluminijski limovi oblikovani zagrijavanjem i prešanjem uljem ili plinom pod pritiskom, dobiva se površina bolje kvalitete od one načinjene klasičnim načinom prešanja.



Slika 6. Prostorni okvir od aluminija (Audi A8) [9]

KEVLAR - Kevlar je aramid, skraćeni naziv za aromatični poliamid. Kemijski naziv za kevlar je poliparafenileneretereftalamid, poznatiji kao paraaramid. Aramidni prsten pruža kevlaru termičku stabilnost, a parastruktura mu pruža veliku čvrstoću i modul. Kevlar je danas jedno od najvažnijih organskih vlakana koje je čovjek uspio proizvesti. Pet puta je jači od čelika s jednakom težinom. Upotrebljava se u različitim oblicima i u bezbroj aplikacija – od neprobojnih pancirskih košulja do podvodnih kablova, padobrana, svemirskih letjelica i suvremenih automobila [10].

NORYL - Plastika čija je prednost što se nakon lakših udaraca vraća u početni oblik. Od njega se rade blatobrani koji su lakši od metalnih te su potpuno otporni na koroziju.

UGLJIČNA VLAKNA - Korištenjem automatiziranih procesa razvijenih u industriji tekstila od njih se rade konusni elementi, tj. elementi koji služe kao primarna zona apsorpcije energije u slučaju sudara. Prva šasija od ugljičnih vlakana za F1 bolid načinjena je 1982. godine.

Ugljična vlakna su materijal bez kojega je posve nezamisliva moderna Formula 1, a koji je s vremenom postao i sastavnim dijelom vrhunskih sportskih automobila. Zbog svoje čvrstoće i male specifične mase postaje svakim danom sve zanimljiviji i proizvođačima velikoserijskih automobila. Bogato iskustvo na ovom polju posjeduju posebno Talijani, čije su tvrtke Ferrari i Lamborghini već odavno usvojile tehnologiju upotrebe ugljičnih vlakana.



Slika 7. Sofisticirane tehnologije u proizvodnji karoserije [11]

Zanimljivo je reći koliko karbonski materijal u kočnicama bolida ima važnu ulogu u brzom i relativno sigurnom zaustavljanju vozila.

Vrijeme koje je potrebno za potpuno zaustavljanje s brzine od 300 km/h iznosi 4 sekunde. S 300 km/h bolidu je potrebno samo 2,9 sekundi do potpunog zaustavljanja, i to se obavi na relaciji od 65 metara. Sa 100 km/h podaci su još impresivniji: za potpuno zaustavljanje potrebno je samo 1,4 sekunde, a bolid se zaustavi za cijelih 17 metara [12]. Jedini materijal u kombinaciji kočioni diskovi/kočiona klijesta, koji omogućuje ovakve performanse jesu karbonska vlakna. Njegove sirove performanse omogućuju snažne deakceleracije, dok njegova težina omogućuje da kočioni diskovi imaju težinu oko 1,4 kg svaki (za usporedbu, čelični diskovi teže 3 kg). Kapacitet karbona da troši toplinu omogućuje nenadmašnu trajnost. Početkom korištenja karbonskih vlakana performanse kočenja podigle su se na znatno višu razinu, što je ubrzo bacilo u zaborav čelik koji se kao materijal koristio sve do 80-tih godina prošlog stoljeća. Iako su prednosti karbonskih kočnica izrazite (vrlo visoke performanse, dobra disperzija i upijanje topline te niska težina), ni čelične kočnice nisu zanemarive - pri kočenju na čeličnom sustavu povratne su informacije znatno bolje [12]. Kada u utrci prelazi preko grba i rubnika terena, bolid ne smije previše odskakati. Smirivanje bolida pri takvim prijelazima zadatak je ovjesa pa se zbog težine i čvrstoće kod proizvodnje dijelova ovjesa također upotrebljavaju karbonska vlakna.

TITAN - Titan se ubraja u vrlo raširene elemente. U prirodi se nalazi kao rutil i ilmenit. Industrijska je proizvodnja počela nakon 2. svjetskog rata, kada se spoznalo da je titan zbog svoje male gustoće, visokog tališta i dobrih mehaničkih svojstava metal suvremenog doba. Zbog tih se svojstava upotrebljava kao materijal za izradu motora bolida F1. Gustoća titana iznosi 4500 kg/m^3 , za razliku od sivog lijeva koji se koristi za motore osobnih automobila, a ima gustoću 7250 kg/m^3 . S relativno malom gustoćom dobiva se i manja masa po kubičnom metru, što čini jedno od glavnih obilježja motora bolida Formule 1 – lagani motor. Titan je vrlo postojan materijal u svim uvjetima rada, a područje primjene mu je od -200 do 1000 Celzijevih stupnjeva. Unatoč tako velikom rasponu temperature, promjene mikrostrukture titana vrlo su male. Kao glavna primjesa upotrebljava se aluminij koji također ima svojstvo male gustoće (2700 kg/m^3) i manji modul elastičnosti. Zato dobro podnosi udarna opterećenja, ima dobru žilavost te omogućuje titanu smanjenje sveukupne težine. S visokim stupnjem čvrstoće i tvrdoće aluminij povećava žilavost i na visokim temperaturama koje može razviti motor bolida F1 [13].

Najpovoljnija za motor Formule 1 je legura titana sa 6 % aluminija i 4 % vanadija, koja sadrži (alfa + beta) kristalnu strukturu. Međutim, proizvodnja takvih materijala vrlo je skupa. Za izradu jednog motora bolida potrebna su gotovo dva tjedna proizvodnje, nakon čega se pristupa testiranju. Svaki proizvođač motora bolida ima spremno bar deset motora za svaku momčad prije početka natjecateljske sezone, koji se konstruiraju i testiraju preko zimske stanke [13].

3.9. Bolidi nekada i danas



Slika 8. Mercedes – Benz W 154 Silver Arrow iz 1938. godine [14, 15]

Tablica 1. Usporedba bolida [4, 16, 17, 18]

Dio bolida	Materijal	Svojstva materijala
Mercedes – Benz W 154 Silver Arrov – 1938.g.		
- šasija	nikal – molibden – krom (Hastelloy)	- vlačna čvrstoća 755 N/mm ² - gustoća 9270 kg/m ³ - talište 1453 °C - modul elastičnosti 210000 N/mm ²
- karoserija	aluminij	- vlačna čvrstoća 40 – 180 N/mm ² - gustoća 2700 kg/m ³ - talište 660 °C - modul elastičnosti 69000 N/mm ² - granica razvlačenja 20 – 120 N/mm ²
- elementi podvozja	čelik	- vlačna čvrstoća 330 – 700 N/mm ² - gustoća 7850 kg/m ³ - talište 1600 °C - modul elastičnosti 210000 N/mm ² - granica razvlačenja 190 – 370 N/mm ²
Maks. brzina: 330 km/h		Masa bolida: 980 kg
Ferrari F 150 – 2011.g.		
- šasija	ugljična vlakna	- vlačna čvrstoća 1500 – 4800 N/mm ² - gustoća 1780 – 2150 kg/m ³ - modul elastičnosti 22800 – 72400 N/mm ²
- kočnice		
- karoserija	kevlar	- vlačna čvrstoća 3600 – 4100 N/mm ² - gustoća 1440 kg/m ³ - modul elastičnosti 131000 N/mm ²
- elementi podvozja		
Maks. brzina: 310 km/h		Masa bolida: 640 kg



Slika 9. Ferrari F 150 iz 2011. godine [19]

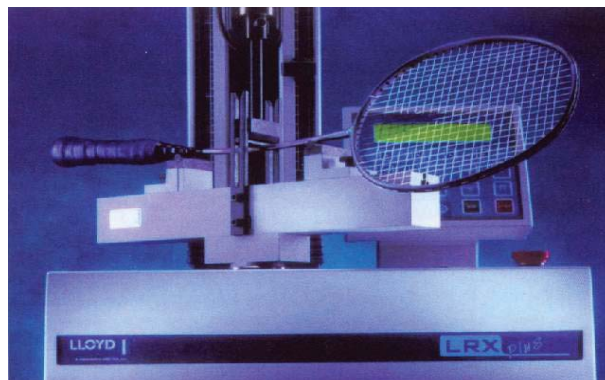
4. REZULTAT RAZVOJA PROIZVODA S RAZVOJEM MATERIJALA U TENISU

Najvažniji dio opreme tenisača je reket. Stoga je vrlo važno obratiti pozornost na vrstu i kvalitetu materijala koji je upotrijebljen za njegovu izradu. Od osiguravanja kvalitete proizvoda do objašnjavanja što u biti reket čini pogodnim za igru, tehnika testiranja materijala vrlo je značajna. U prošlih dvadeset godina dimenzije reketa su se povećale, a okviri su postali znatno lakši. Mjere, kao što su jačina udarca, izdržljivost, zamor, sposobnost uvijanja, naprezanje i standardno ispitivanje težine i ravnoteže, prepoznali su vodeći proizvođači teniskih i badminton reketa kao važna ispitivanja za uvjerenje o kvaliteti. Žice, bilo da su od prirodnih ili umjetnih materijala, s jednostrukim ili višestrukim punjenjem, mogu se lako ispitati i u tlačnom i u vlačnom načinu rada. Pomoću Lloydovih instrumenata proučavali smo žice, drške od vlakana i konca koje mogu biti korištene na univerzalnim LRX materijalima za ispitivanje instrumentima da podnesu različite zadane napore.



Slika 10. Teniski reketi [20]

Sve do 1970. godine svatko tko je bio uključen u sportove koji se igraju s reketom koristio je drvene reket s kožnim drškama i prirodnim nitima. Uvođenje aluminijskih i željeznih okvira otvorilo je put za vrlo lagane i izdržljive materijale. Danas je većina okvira napravljena od laganih grafita ili grafita s kombinacijama pripojenih materijala kao što su titan, kevlar ili staklene niti, koji daju reketu dodatne razine elastičnosti s još uvijek konkurentnom cijenom [20].



Slika 11. Testiranje sportskog reketa na LRX plus [21]

Uvođenjem elastičnih okvira omogućen je precizniji udarac, dok kruti reketi proizvode više snage održavajući glavu krutom i spremnom za dolazeći udarac. Vibracije koje pritom nastaju ne mogu nestati i zbog njih trpi igračevo rame.

Brojni specijalizirani uređaji za mjerenje elastičnosti okvira reketa koriste "indeks krutosti". To obuhvaća stavljanje tereta na okvir i dodjeljivanje vrijednosti flexa (indeks krutosti) nakon odbijanja tereta. Što je viša vrijednost flexa, to znači da je okvir krući. Ovakvo statičko mjerenje može se ponoviti u vlačnim i tlačnim uvjetima na instrumentima kao što je Lloydov LRX ispitni instrument. S LRX Nexygen softverom imamo povećanu fleksibilnost u izvođenju detaljnih ispitivanja materijala za izradu reketa.

Čak i ispitivanje za malu silu može pomoći proizvođačima da shvate mehaniku svakog djelića reketa i pomoći im prilikom oblikovanja budućih. Lloyds Instruments su razvili paletu ispitne opreme, dodatka i softvera za ispitivanje materijala da bi proizvođačima omogućili izvedu ovih i drugih ispitivanja.

4.1. Najsuvremenija tehnologija izrade reketa

Revolucionarna tehnologija 03 omogućuje dvostruko veću mogućnost igraču da postigne najbolji udarac. 03 se odnosi na nov način držanja i zatezanja žica na reketu pomoću O-otvora koji su veliki, a u kombinaciji s aerodinamičnim okvirom reketi su dvostruko bolji nego dosadašnji. Pritom nije povećana glava reketa, reket nije dulji ni teži [22]. Jedna od glavnih karakteristika vrhunskih reketa – Prince 03 – je suvremena GraphitExtreme tehnologija izrade okvira, koja uključuje kombinaciju titana, bakra i ugljika što ih čini čvrstima i otpornima, a istodobno vrlo laganima u ruci. Na većini modela ovih reketa žice su trostruko

pletene. Postignuta je visoka tehnologija ublažavanja vibracija, poput ShockBlock sustava.



Slika 12. Reket Prince 03 [22]

4.2. Utjecaj različitih materijala na prenošenje vibracija pri udarcu

Tehnologije materijala odigrale su vitalnu ulogu u povijesti ove igre, naročito tijekom suvremenog doba s nastajanjem snažnih kompozitnih reketa.

Prvi su reketi izrađeni od krutih komada drveta kao što su jasen, javor i okume. Međutim, anizotropna priroda ovih materijala zahtijevala je promjenu u građi reketa u listićavu (pločastu) strukturu, koja je omogućila povećanje čvrstoće i snage reketa i u paralelnom i u okomitom smjeru na njegovu glavnu os. Premda su se karakteristike reketa značajno povećale usvajanjem listićave (pločaste) strukture, problem upijanja (apsorpcije) vode je ostao, što je rezultiralo naglašenim izvijanjem strukture, a time i promjenjivim karakteristikama.

U 70-tim godinama aluminijski su okviri uživali u kratkom razdoblju uspjeha ponudivši veću čvrstoću i manju masu. Ipak, prema kraju desetljeća uvedeni su novi kompozitni materijali od kontinuiranih vlakana koji su ubrzo nadmašili aluminij kao materijal za okvir. Prvi od ovih kompozitnih materijala bili su sastavljeni od staklenih vlakana smještenih u kalup od poliesterske smole, a kasnije su reketi bili sastavljeni od različitih stupnjeva ugljikovih vlakana smještenih u kalupe od epoksi smole.

Kratkotrajnom usponu aluminija pridonijeli su brojni činitelji. Kompozitni materijali i od staklenih i od ugljikovih vlakana imaju veću čvrstoću od aluminija, tako da reketi napravljeni od kompozitnih materijala mogu biti puno lakši, osobito u slučaju ugljikovih vlakana. Kontinuirana vlakna mogu se istkati raznim načinima u različita tkanja, dajući povećanu kontrolu nad svojstvima reketa. Npr., jednosmjerna vlakna ugrađena su duž glavne osi reketa za visoku čvrstoću kod savijanja, a 0/90° vlakna su pravilno složena na 45° za visoku jakost smicanja i čvrstoću.



Slika 13. Teniski lakat nastaje zbog refleksa stiska u šaci, kada se vibracije prenesu kroz reket [23].

Testovi s aluminijskim reketima pokazali su da se pojavljuje značajan pad čvrstoće na oko 6000 udaraca, uspoređeno s promjenom u čvrstoći reketa od ugljikovih vlakana oko 4 % nakon 50.000 udaraca [24]. Drugi važan činitelj za odbacivanje aluminija bilo je uspoređivanje svojstava prigušenja materijala za okvire – aluminij ima manju sposobnost prigušenja od kompozitnih, što je vrlo važno za zdravlje igrača.

Svojstva prigušenja kod okvira teniskog reketa jako su važna. Kada loptica udari reket, dolazi do vrste rezonancijskih valova unutar okvira i žica, a igrač tu rezonanciju osjeti kao vibraciju kroz dršku. Razina vibracija koje će igrač osjetiti ovisi o tome gdje je na reketu došlo do udarca. Ako se previše vibracija s drške prenese na šaku i ruku igrača, to često rezultira stanjem koje je poznato kao "lateral epiondylitis" ili "teniski lakat". Teniski lakat pogađa oko 45 % ljudi koji redovito igraju i osobit je problem za početnike kojima je često teško pogoditi lopticu s mekanom točkom reketa. Dok previše vibracija uzrokuje teniski lakat, bitno je da igrač može osjetiti udarac loptice. Potpuno uklanjanje vibracija rezultiralo bi nedostatkom informacije o udaru i pratećem smanjenju igračeve percepcije svojstva udarca.

Veliku važnost u evoluciji teniskog reketa imalo je korištenje piezoelektričnih materijala koji mogu kontrolirati vibriranje okvira. Potkraj 90-tih godina „Head“ je iskoristio *intelifiber*, materijal korišten u zrakoplovnoj industriji, kao osnovni element u stvaranju „inteligentnog“ reketa. Ovaj piezoelektrik (materijal koji vibriranjem proizvodi struju) ugrađivan je u vrat i glavu reketa pa je vibracija stvorena kontaktom reketa i loptice pri izvođenju udaraca proizvodila preko ovog materijala struju koja je učvršćivala okvir reketa i povećavala njegovu odbojnu snagu [25].

U budućnosti može doći do pretvaranja pasivne konfiguracije u aktivnu formu u kojoj se vibracije u okviru mogu osjetiti i onda poništiti invertiranjem električnog signala priključenog na piezoelektrične aktivatore koji se nalaze u dršci. Moglo bi se čak dogoditi da ova tehnologija konačno dovede do nestanka teniskog lakta.



Slika 14. „Inteligentni“ reket [25]

4.3. Teniske loptice

Sam reket bez teniske loptice bio bi nevažan.

Teniske se loptice ne mijenjaju već godinama, a standardi su vrlo strogi i jasni. U 99 % slučajeva one su žute boje, točnije fluorescentno žute (ili svjetlo-zelene boje), jer je ustanovljeno da ima najbolju vidljivost za igrače, gledatelje i za potrebe televizijskih prijenosa. Nekada je loptica cijela bila od kože, a vanjska joj je strana bila obložena dlakom ili ovčjom vunom. Takva su rješenja potpuno napuštena [21].

Moderne su loptice napravljene od gume kojoj se dodaju određene kemikalije da dobije tražene karakteristike – propisanu skočnost, brzinu, težinu itd. Vanjski dio loptice načinjen je od posebnog filca od umjetnih vlakana, koji je ujedno i najskuplji dio lopte. Upravo je taj dio presudan kod određivanja karakteristika lopte. Njena preciznost, aerodinamika, skočnost i nezaobilazno trenje ponajviše ovise upravo o vanjskom materijalu. Stoga je izbor vanjskog materijala vrlo važan za dobivanje (ne) željenih značajki pojedine lopte [21]. Jači, duži i bogatiji vanjski dio loptice povećava otpor zraka, no isto tako povećava i kontrolu prilikom igre. Kod loptice s malo „dužom dlakom“ povećava se osjećaj upravljivosti, stoga su takve loptice i pogodnije za *spin* ili *slice* udarce kod kojih nije presudna brzina loptice već njena što veća rotacija.



Slika 15. Teniska loptica [26]

Skočnost je iznimno važan čimbenik i ona se osim odabirom vanjskog i unutarnjeg materijala regulira i

pritiskom zraka unutar loptice. Željeni tlak iznosi 2 bara, a testiranje skočnosti ispituje se u posebnim uvjetima i na posebnim materijalima.

Teniske se loptice najviše proizvode u Južnoj Africi, na koju otpada oko 90 % ukupne svjetske proizvodnje lopti. Svake se godine proizvede oko 300 milijuna loptica, za što je potrebno oko 15.000 četvornih metara gume. Ovaj podatak stvara i velike ekološke probleme budući da materijali od kojih je lopta napravljena nisu lako biološki razgradivi. Stoga su svjetski poznati turniri, poput Wimbledona, osigurali ekološki prihvatljivu reciklažu loptica koje se koriste za vrijeme igranja turnira [26].

5. ZAKLJUČAK

Slijedom razvoja materijala možemo pratiti njegov utjecaj na kvalitetu života i rada čovjeka u svim segmentima. Područja primjene različitih materijala mnogobrojna su i vrlo raznolika, pa smo se u ovom radu ograničili na područje sporta. To je jedno od područja gdje je utjecaj razvoja materijala najviše izražen.

Područje istraživanja suzili smo na Formulu 1 i tenis jer su to sportovi u kojima se potpuno može vidjeti širina utjecaja razvoja materijala, kako na postignute rezultate, zdravlje sportaša, tako i na očuvanje njihova života. U Formuli 1 interes za ponašanje materijala povećao se prijelazom s aluminijskih na karoserije od ugljičnih vlakana, ali kompozitni materijali su se pokazali sigurniji od metalnih prethodnika. U povijesti razvoja bolida važnu ulogu imali su kompozitni materijali, apsorpcija energije i oblikovanje.

Tehnologija materijala u Formuli 1 poprimila je ogromno značenje u posljednjem desetljeću. Tako se javljaju nova pravila koja ograničavaju ili čak zabranjuju upotrebu određenih materijala s namjerom da se zaštite sudionici i da se zadrže troškovi na prihvatljivoj razini.

Što se tiče tenisa, ključni momenti u razvoju materijala bili su uvođenje aluminijskih i željeznih okvira, laganih grafita i grafita s kombinacijama pripojenih materijala.

Možemo zaključiti da je razvoj materijala imao revolucionarno značenje u tolikoj mjeri da je, konkretno utrke Formule 1, pretvorio u sport s minimalnom mogućnošću smrtnog ishoda. U tenisu pak očekujemo da razvoj tehnologije konačno dovede do nestanka "teniskog lakta" kao najučestalije ozljede u tom sportu.

6. LITERATURA

- [1] Ashby M.F., (2001), *Materials Selection in Mechanical Design*, Butterworth-Heinemann, Oxford
- [2] www.vidiauto.com/05sport/index.php?id=pitanja.php, 12.06.2011.
- [3] www.autonet.hr/default.asp?id=1971, 03.05.2011.
- [4] Filetin T., Kovačićek F., Indof J., (2007), *Svojstva i primjena materijala*, Fakultet strojarstva i brodogradnja, Zagreb
- [5] Slanjanić A., (2011), *Nova sezona, nova pravila*, www.dw-world.de/dw/article/0,,6479836,00.html, 13.06.2011.
- [6] Preston M., (2010), *Composite Material Substitution in Formula 1 – Implications for Industry*,

- <http://www.formtech-composites.co.uk/compositesUKcompositesubstituti on.html>, 05.04.2012.
- [7] <http://ferrari-f1-wallpaper-bolid.jpg&imgrefurl=http://stareslike.com/download-besplatno/tag/bolidi/&usg=598>, 12.06.2011.
- [8] www.tip-top.hr/modules/news/article.php?storyid=54, 06.05.2011.
- [9] <http://saobraćajni.blogspot.com/2009/01/>, 12.06.2011.
- [10] www.dunlop.eu/dunlop_hrhr/news/news_article.jsp?id=36413, 05.05.2011.
- [11] Brambilla E., (2011), Šasije od karbona više neće biti rezervirane za borbene avione, *Auto-klub*, Vol.No. 639, 78-79
- [12] <http://forum.f1-hr.com/viewtopic.php?t=1652>, 05.05.2011.
- [13] Filetin T., Indof J., Kovačićek F., (2002), *Svojstva i primjena materijala*, FSB, Zagreb
- [14] <http://www.research-racing.de/w154-a.htm>, 12.09.2011.
- [15] <http://www.sportscardigest.com/mercedes-benz-w154-silver-arrow-car-profile>, 12.09.2011.
- [16] Skupina autora, (1998), *Inženjerski priručnik, Proizvodno strojarstvo*, Školska knjiga, Zagreb
- [17] <http://en.wikipedia.org/wiki/Ferrari> 150%C2%B0 Italia, 13.09.2011.
- [18] <http://en.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Bez> W154, 15.09.2011.
- [19] <http://scarbsf1.wordpress.com/category/ferrari-f150/> 15.09.2011.
- [20] http://winner.ba/bs/index.php?option=com_content&task=view&id=49&Itemid=, 05.05.2011.
- [21] www.fia.com/homepage/selection-a.html, 18.5.2011.
- [22] www.e-tenis.org/2011/02/izbor-teniskog-reketa.html, 05.05.2011.
- [23] http://www.google.hr/search?q=slike+za+teniski+lakat&hl=hr&prmd=imvns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=EUMoT6z3BYmj-gb1n_CWBQ&ved=0CCwQsAQ&biw=1280&bih=798, 20.05.2011.
- [24] www.hr-tenis.com/oprema/clanak/teniski-reketi?id=20881, 05.05.2011.
- [25] Matic L., (2006), *Sve o reketu*, <http://tenissrbija.blogspot.com/2006/12/sve-o-reketu-2.html>, 17.05.2011.
- [26] www.hr-tenis.com/oprema/clanak/teniske-loptice?id=21129, 19.5.2011.