

# Izbor materijala i usporedba svojstava suvremenih teniskih reketa

---

**Kirigin, Toni**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:141572>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Toni Kirigin**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Irena Žmak

Student:

Toni Kirigin

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentorici prof. dr. sc. Ireni Žmak na svojoj pomoći koju mi je pružila, te na strpljenju i pristupačnosti. Također, zahvaljujem laborantu Ivanu Martinku na pomoći i koordiniranju kod eksperimentalnog dijela rada.

Posebno zahvaljujem obitelji, prijateljima i kolegama na potpori tijekom dosadašnjeg studiranja.

Toni Kirigin



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

|  |        |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum  | Prilog |
| Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1                                 |        |
| Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -                                    |        |

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Toni Kirigin** JMBAG: **0035222422**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Izbor materijala i usporedba svojstava suvremenih teniskih reketa**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Materials selection and properties comparison of modern tennis rackets**

Opis zadatka:

Moderan tenis kakvog danas poznajemo definiran je u Velikoj Britaniji sedamdesetih godina 19. stoljeća, iako se pojava slične igre nalazi još u 12. stoljeću u Francuskoj. Jasno definiranje pravila igre uključivalo je i definiranu opremu za igru – reket i lopticu. Razvoj materijala omogućio je unaprijeđenje teniskih reketa po pitanju njihove veće trajnosti, čvrstoće, krutosti, žilavosti i manje mase. Od prvih teniskih reketa koji su bili drveni, razvijali su se prvi kompozitni reketi od laminiranog drva. Najznačajniji iskorak u izboru materijala za izradu reketa dogodio se 1967., kada je tvrtka Wilson predstavila svoj model T2000 s čeličnim okvirom, koji je značajno promijenio način na koji se od tada igrao tenis. Već sljedeće godine tvrtka Spalding predstavila je prvi aluminijski reket, „The Smasher“, koji je bio lakši i manje krut nego čelični. Ipak, veća krutost metala u odnosu na drvo značila je igračima i manju preciznost, pa su se drveni reketi zadržali u upotrebi na poznatim teniskim turnirima sve do 80-ih godina 20. stoljeća. S razvojem kompozitnih materijala, omogućeno je dalje smanjenje mase okvira teniskog reketa, kao i podešavanje njegove krutosti, te je 1982. Dunlop predstavio prvi reket ojačan staklenim vlaknima, model „Maxply McEnroe“. U današnje vrijeme se u najvećoj mjeri upotrebljavaju reketi izrađeni od polimernih kompozita ojačanih ugljičnim vlaknima. Početkom 21. stoljeća nanotehnologija je primijenjena i u razvoju teniskih reketa, kada su se počele dodavati ugljične nanocijevi na pojedina mjesta na okviru reketa. U kolovozu ove godine na US Openu prvi put je korišten unaprijeđeni model teniskog reketa „Pure Aero“ tvrtke Babolat, koji sadrži i lanena vlakna, čime su smanjene vibracije približno sedam puta, te je reket ugodniji za igrača. Osim svih spomenutih povoljnih mehaničkih i fizikalnih svojstava, upotreba polimernih kompozita značajno je utjecala i na mogućnosti estetskog izražavanja na teniskim reketima.

U okviru ovog završnog rada potrebno je proučiti povijesni razvoj teniskih reketa, te za teniski reket odrediti zahtjeve na izbor materijala i na temelju zahtjeva odrediti koja svojstva materijala bi te zahtjeve zadovoljila. U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je analizirati izbor materijala i građu okvira i drške nekoliko suvremenih teniskih reketa. Osim toga, za odabrane teniske rekete potrebno je osmisliti i provesti prikladan postupak ispitivanja mehaničkih svojstava, te se osvrnuti na cijene ispitivanih reketa. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.  
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.  
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.  
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.  
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

*Irena Žmak*  
Izv. prof. dr. sc. Irena Žmak

Predsjednik Povjerenstva:

*Prof. dr. sc. Branko Bauer*  
Prof. dr. sc. Branko Bauer

**SADRŽAJ**

|   |     |
|---|-----|
| POPIS SLIKA .....   | II  |
| POPIS TABLICA.....  | III |
| POPIS OZNAKA .....  | IV  |
| SAŽETAK.....  | V   |
| SUMMARY .....   | VI  |
| 1. UVOD .....   | 1   |
| 2. POVIJEST I RAZVOJ TENISA I TENISKIH REKETA .....                 | 2   |
| 2.1. Početci tenisa.....  | 2   |
| 2.2. Razvoj drvenih reketa.....                                     | 2   |
| 2.3. Open Era i metalni reketi .....                                | 3   |
| 2.4. Kompozitni reketi.....   | 5   |
| 3. IZBOR MATERIJALA ZA IZRADU TENISKIH REKETA .....                 | 7   |
| 3.1. Kriteriji za izbor materijala .....                            | 7   |
| 3.1.1. Funkcionalnost i eksploataбилnost .....                      | 7   |
| 3.1.2. Tehnologičnost .....   | 8   |
| 3.1.3. Ekonomičnost i normiranost .....                             | 10  |
| 3.1.4. Ekološkičnost i estetičnost.....                             | 10  |
| 3.2. Suvremeni materijali teniskih reketa.....                      | 11  |
| 3.3. Materijali izrade mrežice reketa .....                         | 14  |
| 4. EKSPERIMENTALNI DIO: ISPITIVANJE TENISKIH REKETA NA SAVIJANJE .. | 16  |
| 4.1. Priprema ispitnih tijela za ispitivanje .....                  | 17  |
| 4.2. Ispitivanje .....  | 20  |
| 4.3. Analiza rezultata ispitivanja .....                            | 21  |
| 4.4. Analiza izvedbi ručki reketa.....                              | 26  |
| 5. ZAKLJUČAK .....  | 27  |
| LITERATURA.....   | 28  |

**POPIS SLIKA**

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Asimetrični drveni reket[5] .....  | 3  |
| Slika 2. Wilson T2000[7] .....  | 4  |
| Slika 3. Prince Classic reket iz 1976. [8] .....  | 4  |
| Slika 4. Dunlop Max 200G [11] .....   | 6  |
| Slika 5. Primjer krhkog loma vrata reketa.....  | 8  |
| Slika 6. Izrada aluminijskog teniskog reketa[13] .....                                  | 9  |
| Slika 7. Izrada kompozitnog teniskog reketa[13].....                                    | 9  |
| Slika 8. Usporedba obojenog i neobojenog reketa Wilson Clash 108 V2[15].....            | 10 |
| Slika 9. Aluminijski juniorski reket Head Radical 21" (2021)[16] .....                  | 11 |
| Slika 10. Presjek aluminijskog reketa tvrtke Yonex[17].....                             | 12 |
| Slika 11. Wilson Six-One reket[20] .....  | 13 |
| Slika 12. Nanokristali silicijeva dioksida povezuju ugljična vlakna[17] .....           | 13 |
| Slika 13. Žica izrađena od prirodnoga crijeva[22] .....                                 | 14 |
| Slika 14. Univerzalna kidalica s trnom i osloncima u zahvatu s ispitnom tijelom .....   | 16 |
| Slika 15. Reket prije i nakon izrezivanja ispitnih tijela.....                          | 18 |
| Slika 16. Rezanje ispitnih tijela iz teniskih reketa ručnom pilom .....                 | 18 |
| Slika 17. Izrezana ispitna tijela .....   | 19 |
| Slika 18. Dimenzije presjeka ispitnih tijela.....                                       | 20 |
| Slika 19. Postavljanje ispitnog tijela 1 u kidalicu .....                               | 20 |
| Slika 20. Tijek ispitivanja u kidalici.....   | 21 |
| Slika 21. Ispitna tijela nakon ispitivanja .....  | 21 |
| Slika 22. Presjek ispitnog tijela 1 dalje (lijevo) i bliže (desno) od vrata reketa..... | 22 |
| Slika 23. Presjeci ispitnih tijela nakon rezanja.....                                   | 22 |
| Slika 24. Dijagram sila – progib za ispitno tijelo 1 .....                              | 23 |
| Slika 25. Dijagram sila – progib za ispitno tijelo 2 .....                              | 23 |
| Slika 26. Dijagram sila – progib za ispitno tijelo 3 .....                              | 24 |
| Slika 27. Pukotina na ispitnom tijelu 3 .....   | 24 |
| Slika 28. Dijagram sila – progib za ispitno tijelo 4.....                               | 25 |
| Slika 29. Pukotina na ispitnom tijelu 4 .....   | 25 |
| Slika 30. Poprečni presjeci ručki reketa .....  | 26 |

---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Reketi korišteni za ispitivanje na savijanje ..... 17  
Tablica 2. Dimenzije ispitnih tijela ..... 19



**POPIS OZNAKA**

| <b>Oznaka</b> | <b>Mjerna jedinica</b> | <b>Opis oznake</b>                |
|---------------|------------------------|-----------------------------------|
| $w$           | mm                     | Širina ispitnog tijela            |
| $d_1$         | mm                     | Ukupna visina ispitnog tijela     |
| $d_2$         | mm                     | Visina na sredini ispitnog tijela |
| $d_3$         | mm                     | Visina šupljine ispitnog tijela   |
| $b$           | mm                     | Debljina stijenke ispitnog tijela |

---

**SAŽETAK**

Tijekom povijesti tenisa, materijali korišteni za izradu reketa značajno su utjecali na performanse igrača. U početku su teniski reketi bili izrađeni od drva i bili su teški, što je igračima otežavalo stvaranje brzine i snage u udarcu. Međutim, s vremenom su se materijali počeli mijenjati kako bi se poboljšale performanse igrača. Prvo se s drvenih reketa prešlo na metalne, posebice aluminijske, a u sedamdesetim godinama prošloga stoljeća pojavljuju se i prvi kompozitni reketi, koji su bili lakši i čvršći. Ovi reketi omogućili su igračima da u udarcima imaju više brzine, snage i preciznosti, što je dovelo do poboljšanja igre i postavljanja novih rekorda. Konačno se pojavljuju i kompozitni reketi ojačani ugljičnim vlaknima koji imaju sve skupa najbolja svojstva i, uz aluminijske rekete, koriste se još danas. Sve u svemu, konstrukcijska rješenja i korišteni materijali zajedno igraju ključnu ulogu u utjecanju na svojstva reketa, što omogućava igračima da pronađu reket koji odgovara njihovom stilu igre i da tako postignu najbolje rezultate na terenu.

U završnom radu prikazan je povijesni razvoj konstrukcija i izbora materijala za izradu teniskih reketa. Četiri različite vrste rekreativnih teniskih reketa, tri od proizvođača Babolat i jedan reket tvrtke Wilson, ispitani su u eksperimentalnom dijelu rada. Provedena su laboratorijska ispitivanja savijanjem i analize konstrukcijskih izvedbi te su doneseni odgovarajući zaključci.

Ključne riječi: tenis, teniski reketi, drvo, aluminij, kompoziti, ugljična vlakna, konstrukcija, svojstva

---

**SUMMARY**

Throughout the history of tennis, the materials used for making rackets have had significant impact on player performance. In the beginning, tennis rackets were made of wood, and they were heavy, making it difficult for players to generate speed and power in their shots. However, as time went on, materials evolved to improve player performance. Wooden rackets were replaced with metal, specifically aluminium, and in the 1970s, the first composite rackets appeared, which were lighter and stronger. These rackets enabled players to have more speed, power and accuracy in their shots, resulting in better, more beautiful play and the setting of new records. Finally, composite rackets reinforced with carbon fibres emerged, which have the best overall properties and, along with aluminium rackets, are still used today. In conclusion, the construction design and the materials used for making tennis rackets have a significant impact on a racket's properties. This has allowed players to find rackets that match their playing style, leading to improved performance and results on the court.

This Bachelor thesis presents the historical development of constructions and materials selection for tennis rackets. Four different types of recreational tennis rackets, three from Babolat and one from Wilson, were tested in the experimental part of the thesis. Laboratory bending tests and analyses of design were carried out and appropriate conclusions were drawn.

Key words: tennis rackets, wood, aluminium, composites, carbon fibres, design, properties

## 1. UVOD

Tenis je igra u kojoj dva ili četiri igrača udaraju loptu reketima točno određenih dimenzija i svojstava, na pravokutnom terenu. Definicija tenisa još kaže kako se bodovi dodjeljuju igraču ili timu čiji protivnik ne uspije vratiti lopticu na pravilan način unutar terena. Početci ove igre javljaju se još u dvanaestom stoljeću u Francuskoj, a veću rasprostranjenost postiže krajem devetnaestog i početkom dvadesetog stoljeća. Šezdesetih godina prošlog stoljeća dolazi do značajnog rasta popularnosti tenisa, ali do definicija dimenzija i specifikacija teniskog reketa dolazi tek dvadesetak godina kasnije. Prvi reketi bili su izrađeni od punog drva, a zatim od lameliranog drva. S drvenim reketima razvijali su se i metalni, međutim do 1970. nisu zaživjeli jer su uglavnom bili preteški. Sedamdesetih godina dolazi do „revolucije“ u svijetu tenisa pojavom aluminijskih reketa, koji su bili mnogo bolji od drvenih, ali i dosta mekani. Na posljatku dolazi i do izuma kompozitnih reketa ojačanih ugljičnim vlaknima koji su daleko boljih svojstava i od drvenih i od aluminijskih reketa. Kompozitni reketi se i danas koriste, često i u izvedbama gdje je sama unutrašnjost reketa aluminijska, a prevučen je kompozitom s ugljičnim vlaknima. Upravo takvi reketi su ispitani na savijanje u eksperimentalnom dijelu ovoga rada. Riječ je o reketima kojima se koriste uglavnom rekreativni igrači, a s obzirom na vlastito rekreativno bavljenje tenisom, za potrebe ovog završnog rada nabavljena su tri vlastita rabljena reketa proizvođača Babolat i jedan reket tvrtke Wilson. Osim eksperimentalnog dijela ispitivanja reketa na savijanje, u ovom radu bit će riječi i o povijesnom razvoju teniskih reketa, te o izboru materijala za teniske rekete.

## 2. POVIJEST I RAZVOJ TENISA I TENISKIH REKETA

### 2.1. Počeci tenisa

Prvim počecima tenisa smatraju se zapisi iz 12. stoljeća u kojima je riječ o igri koja se igrala na sjeveru Francuske, uglavnom na dvorovima, bogatim vjenčanjima i sličnim prigodama. Naime, tadašnji „tenis“, takozvani „*jeu de paume*“ (francuski: „igra dlanom“) igrao se dosta drugačije nego moderni tenis [1]. Igralo se uglavnom na kvadratnim trgovima, a umjesto reketa, loptica se udarala otvorenim dlanom. Iz te ruke s otvorenim dlanom razvio se reket. Tadašnji redovnici, za koje se smatra da su osmislili igru, prvo su s gole ruke prešli na kožnu rukavicu, a nakon što su se počeli previše ozljeđivati, počeli su koristiti puni drveni reket, nešto nalik kratkom veslu [2]. U 14. stoljeću konačno dolazi i do pojave prvih „pravih“ reketa. Počinje se koristiti drveni okvir u obliku suze s dugačkom ručkom i mrežicom napravljenom od ovčje utrobe.

### 2.2. Razvoj drvenih reketa

Bojnik Walter C. Wingfield 1874. u Londonu patentira opremu i pravila za igru na travnatom podlozi. Ti prvi drveni reketi su bili dosta slični današnjima, međutim bili su dosta manjih glava i bili su asimetrični kako bi igrač mogao lakše udariti lopticu koja je išla nisko uz tlo [3]. Većinom su se reketi izrađivali od jedne ili više grana drva jasena, koje su se savijale u željeni položaj i koje su se lijepile ljepilima životinjskog podrijetla [4]. Asimetrični reketi su ubrzo zamijenjeni simetričnima, tako da su već krajem 19. stoljeća svi reketi bili simetrični s malo većim glavama. Godine 1877. održano je prvo veliko natjecanje u tenisu u Wimbledonu. Na tom turniru se po prvi puta igralo na terenu istih dimenzija kao što su i današnje te se koristio današnji sustav bodovanja od 15, 30 i 40 poena.



**Slika 1. Asimetrični drveni reket[5]**

Drveni reketi, osim veličinom, nisu se mnogo mijenjali do 1947. godine kada se počinju raditi laminirani reketi. Osim jasena počeli su se koristiti i javor, platana i grab za glavni dio okvira, cikorija se koristila u površinskom sloju za bolju otpornost trošenju, te bukva i mahagonij za grlo i dršku reketa [4].

### **2.3. *Open Era* i metalni reketi**

1968. godine počinje takozvana *Open Era* tenisa. Tenis postaje kompetitivniji jer profesionalci i amateri se počinju zajedno natjecati za bogate nagrade. To dovodi do ubrzanog razvoja teniske opreme i drugačijeg načina igre. Igrači se s taktike servis-volej prebacuju na igru s osnovne linije jer im to omogućuju bolji reketi s više snage [3]. Pod pojmom snage misli se na energiju koju je moguće prenijeti s reketa na lopticu prilikom udarca.

Metalni reketi postoje još od 1880-ih godina, ali nisu do 1960-ih zaživjeli u široj upotrebi jer nisu imali jednako dobre performanse kao drveni reketi. Bili su dosta teški i kruti te s njima nije bila toliko dobra preciznost. Također proizvođači su imali velikih problema s postavljanjem mrežice na njih. 1953. Lacoste patentira metalni reket kojemu je mrežica bila vezana na metalnu žicu koja je bila uz rub okvira glave reketa. Tvrtka Wilson kupuje prava na patent i proizvodi 1968. revolucionarni model Wilson T2000, prvi metalni reket koji je postigao široku upotrebu. T2000 bio je čvršći, lakši i bolje se kretao zrakom od tadašnjih drvenih reketa [6]. Popularizirao ga je Jimmy Connors koji je 1974. postao prvi tenisač koji je osvojio Wimbledon s metalnim reketom. Tada su se uvidjele velike prednosti koje je imao metalni reket nad drvenim i počinje veliki razvoj metalnih reketa.



**Slika 2. Wilson T2000[7]**

Proizvođači su pokušavali raznim materijalima i oblicima doći do savršenog reketa, tako su se izrađivali reketi šupljih profila od aluminija i ugljičnih čelika. Umjesto metalne žice na koju je bila vezana mrežica počinju se praviti male rupice u okviru u koje se stavljaju polimerni umetci kroz koje će prolaziti žice od mrežice. Na taj način žice nisu dolazile direktno na oštre metalne rubove gdje su često pucale [4]. Tvrtka Prince 1976. predstavlja prvi *oversized* (veliki) reket, model Prince Classic, koji je imao aluminijski okvir i kod kojeg je površina mrežice bila 50 % veća od standardnih 420 cm<sup>2</sup> koja je bila na drvenim reketima.



**Slika 3. Prince Classic reket iz 1976. [8]**

Mala težina, velika optimalna točka udarca i znatno veća snaga učinili su tenis mnogo lakšim za amatere. Međutim, za profesionalne igrače sa snažnim udarcima, kombinacija fleksibilnosti i snage okvira rezultirala je u prevelikoj nepredvidljivosti gdje će loptica završiti. Jaki udarci izvan centra reketa dovodili su odmah do iskrivljenja okvira, a time i ravnine mrežice, koja je

onda slala loptice u neželjenim smjerovima [9]. U to vrijeme krovna teniska organizacija ITF (engl. *International tennis federation*) nije imala određena ograničenja dimenzija teniskih reketa, ali je ograničenje nametnuto 1981. godine. Odlučeno je da ukupna duljina reketa može biti do 737 mm, ukupna širina 317 mm i da duljina udaračkog dijela reketa (područje mrežice) ne smije biti veća od 394 mm, a širina ne veća od 292 mm [10]. Ova ograničenja vrijede i danas.

## 2.4. Kompozitni reketi

Uvidjevši veliki uspjeh metalnih reketa, proizvođači počinju eksperimentirati s različitim drugim materijalima, posebno s kompozitima koji sadrže staklena i ugljična vlakna. Ugljična vlakna, u teniskom žargonu poznata i kao grafitna vlakna, imala su bolju čvrstoću, ali i višu cijenu od metalnih materijala. Kompoziti ojačani vlaknima imaju dobru čvrstoću samo u smjeru vlakana, stoga je potrebno vlakna slagati na takav način da se maksimalno iskoriste njihova svojstva. Vlakna se naizmjenično slažu okomito jedna na druge te se međusobno povezuju uranjanjem u matricu od neumrežene epoksidne ili slične smole, koja štiti i povezuje vlakna [4]. Tako dobivamo kompozitni materijal s dobrim svojstvima u gotovo svim smjerovima. Proces izrade okvira reketa od takvog kompozitnog materijala uključuje oblikovanje u cjevasti oblik namatanjem kompozitnog materijala oko polimerne cijevi koja se može naknadno stlačiti zrakom. Takav materijal se stavlja u kalup odgovarajućeg oblika i presjeka i određena lokalna područja se ojačavaju dodatnim materijalom. Dodaje se komponenta vrata reketa kako bi se spojila petlja glave, te se sve skupa zagrijavanjem oblikuje i primjenom unutarnjeg tlaka očvršćuje i povezuje. Također, u nekim se slučajevima unutarnji tlak u cijevi može postići toplinskim širenjem jezgre od plastične pjene umjesto stlačenog zraka [4].

Kompozitni reketi ojačani ugljičnim vlaknima 80-ih godina prošlog stoljeća postaju sinonim za najbolji reket. Ubrzo se više drveni reketi prestaju proizvoditi, a na tržištu postoje samo jeftini reketi napravljeni od aluminijske i skupi reketi napravljeni od kompozita. Jedan od najpoznatijih prvih kompozitnih reketa ojačanih ugljičnim vlaknima bio je Dunlop Max 200G, kojeg je koristio jedan od najboljih tadašnjih tenisača John McEnroe [9].





**Slika 4. Dunlop Max 200G [11]**

### 3. IZBOR MATERIJALA ZA IZRADU TENISKIH REKETA

Procjenjuje se da danas raspolažemo s više od 70 000 vrsta tehničkih materijala [12]. U zadnjih 50-ak godina u uporabu je ušlo više materijala nego u svim prethodnim stoljećima zajedno, a kako za sve tako i za teniski reket teško je pronaći savršeni materijal. Dva ključna svojstva koje reket mora ispunjavati su krutost i mala masa, bilo da to postiže materijalom ili načinom izrade [9]. Također, moderni reketi moraju biti izdržljivi i možda i najvažniji zahtjev je taj da igrač s izabranim reketom uvijek može pogoditi traženi udarac [6].

#### 3.1. Kriteriji za izbor materijala

Kriteriji vezani uz materijale javljaju se u početnim fazama kreiranja proizvoda, od pojave ideje sve do njezina oblikovanja i postavljanja zahtjeva na proizvod [12]. Dio sljedećih kriterija odnosi se na sami materijal, dok je drugi dio vezan i za željene karakteristike proizvoda.

##### 3.1.1. Funkcionalnost i eksploataбилnost

Funkcionalnost i eksploataбилnost, iako su dva različita kriterija pri izboru materijala, često ih je teško razdvojiti jer se funkcija proizvoda očituje u eksploataciji. Na funkcioniranje proizvoda pri korištenju djeluju sljedeća neželjena ponašanja:

- promjena dimenzija
- promjena oblika (elastične i plastične deformacije)
- pojava loma
- pojava korozije i trošenja [12].

Stoga se danas pri izboru materijala za teniske rekete traže materijali koji će moći izdržati visoko naprezanje pri udarcima loptice. Pri tim naprezanjima može doći do minimalnih elastičnih deformacija, ali nikako i do plastičnih deformacija pri savijanju ili uvijanju, jer deformiranjem okvira reketa dolazi do promjene ravnine mrežice te novim udarcima loptica završava na nepredvidljivim mjestima. Iz ovoga slijedi da je granica razvlačenja svojstvo materijala koje je od velike važnosti za rekete. Također, pri tim kratkotrajnim visokim udarnim naprezanjima ne smije doći do krhkog loma reketa, niti do trošenja jer to isto dovodi do promjene načina kako će se loptica odbiti od reketa. Stoga je svojstvo žilavosti, odnosno udarnog rada loma jako važno svojstvo materijala za izradu teniskih reketa. Još je važno napomenuti da se od materijala reketa traži da bude lagan, ali i da apsorbira što veći dio vibracija pri udarcima koje isto odmažu reketu da zadrži integritet cjeline i površine jer mogu dovesti do

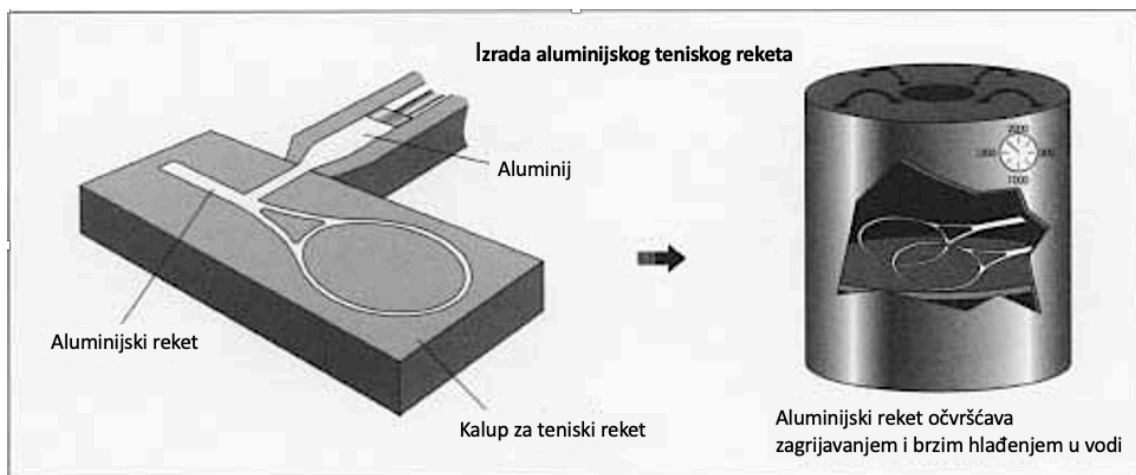
umora materijala. Na Slika 5. Primjer krhkog loma vrata reketamože se vidjeti krhki lom koji se prvo pojavio na desnom dijelu vrata reketa uslijed nepravilnog snažnog udarca loptice, a nakon što se s njime nastavilo igrati, lom se pojavio i na lijevom dijelu vrata.



**Slika 5. Primjer krhkog loma vrata reketa**

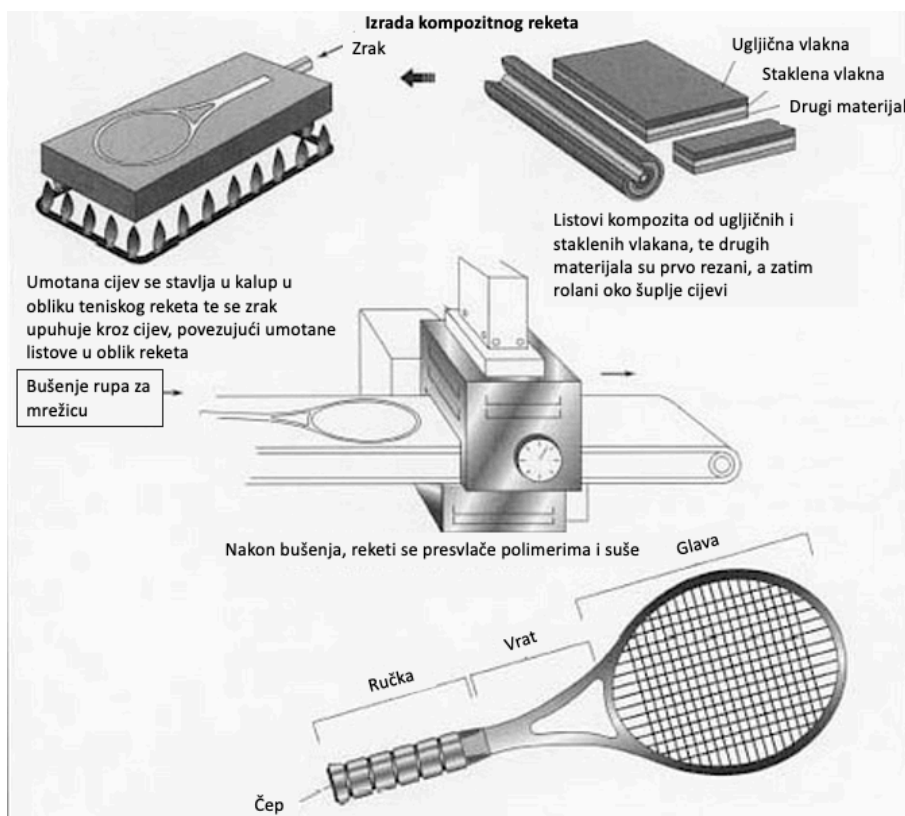
### ***3.1.2. Tehnologičnost***

Tehnologičnost je kriterij pod kojim se misli na prikladnost materijala za preoblikovanje, karakteristike svakog proizvodnog postupka, značajke opreme, troškove montaže i/ili izrade i na radnike [12]. Postupci proizvodnje mijenjaju početna svojstva materijala, a kriterij tehnologičnosti je zapravo potreba da se postigne propisana kvaliteta, najjednostavnijim i najjeftinijim načinom proizvodnje iz najjeftinijih i najjednostavnijih mogućih materijala. Današnji reketi su uglavnom napravljeni od aluminijskog i kompozitnih materijala, većinom od ugljičnih vlakana. Aluminijski okviri nisu teški za oblikovanje i uglavnom se dobivaju taljenjem i ekstrudiranjem što je prilično pristupačno. Na Slika 6. Izrada aluminijskog teniskog reketa ukratko je prikazan način izrade aluminijskog reketa.



**Slika 6. Izrada aluminijskog teniskog reketa[13]**

Grafitni, tj. kompozitni okviri izrađuju se krojenjem i slaganjem slojeva (listova) tkanine ojačane ugljičnim vlaknima i natopljene neumreženom duromernom smolom te oblikovanjem u kalupu uz zagrijavanje. Proizvodnja kompozitnih okvira je znatno teža nego aluminijških jer kompozitni materijali nemaju u svim smjerovima ista svojstva i jako je važna orijentacija vlakana. Za izradu dobrog kompozitnog reketa osim dobrog materijala i strojeva, radnici moraju imati dobru obuku i iskustvo u slaganju listova kompozitnog materijala [14]. Na slici Slika 7. Izrada kompozitnog teniskog reketa shematski je prikazana izrada nekog kompozitnog reketa.



Slika 7. Izrada kompozitnog teniskog reketa[13]

### 3.1.3. Ekonomičnost i normiranost

Pod pojmom ekonomičnost misli se na raspoloživost materijala, njegovu nabavljivost i cijenu. Normiranost, tj. standardnost se odnosi na biranje materijala čija su svojstva normirana, tj. onih materijala koji se često proizvode i koji su lakše nabavljivi. Osim toga, kod kriterija normiranosti nužno je ispunjavanje određenih propisa, normi u pogledu zadovoljenja specifičnih svojstava ili unaprijed određenih vrsta materijala [12]. Prilikom izrade teniskih reketa nije normiran materijal od kojega može biti napravljen reket, a pri izradi se najviše koriste aluminij, titanij te raznorazni kompoziti, te su svi ti materijali dosta pristupačni.

### 3.1.4. Ekološkičnost i estetičnost

Ekološkičnost je kriterij kod izbora materijala, koji obuhvaća zahtjeve za bolje iskorištavanje otpadnog materijala, dijela ili čitavog proizvoda, te zahtjeve za zaštitu okoliša [12]. Kao što je već prije rečeno, teniski reketi se uglavnom izrađuju od metala (aluminija i titanija) i kompozita. Za razliku od metalnih, kompozitni reketi su jako slabo razgradivi, tj. teško ih je reciklirati jer se sastoje od više različitih komponenata koje je gotovo nemoguće uspješno odvojiti. Također, teniski reketi imaju i polimerne dijelove, poput umetaka, koji su uglavnom od plastomernog

materijala koje je moguće reciklirati. Osim toga, estetičnost koja je jako bitna za konkurentnost proizvoda za široku potrošnju, a očituje se skladnim dimenzijama, sjajnošću, bojom i teksturom, većinom loše utječe na mogućnost recikliranja reketa jer se reketi prevlače raznoraznim polimerima i bojama. Što je proizvod, u ovom slučaju reket, sastavljen od više različitih materijala, teže ga je reciklirati. Napretkom tehnologije izrade teniskog reketa on je postao praktički nemoguć za recikliranje.



Slika 8. Usporedba obojenog i neobojenog reketa Wilson Clash 108 V2[15]

### 3.2. Suvremeni materijali teniskih reketa

Na temelju navedenih kriterija, proizvođači su došli do zaključka da materijali koji najbolje odgovaraju izradi teniskih reketa su aluminiji, ugljičnim vlakna ojačani polimerni kompoziti, te kompoziti ojačani staklenim vlaknima. Danas na tržištu postoje jeftini i skupi reketi. Jeftini reketi su oni izrađeni od aluminija koji su eventualno ojačani kompozitima sa staklenim ili ugljičnim vlaknima i oni uglavnom koštaju manje od 100 EUR, zavisi jesu li ojačani, čime su ojačani i o tehnologiji izrade. Aluminijski reketi su uglavnom napravljeni od jedne ili više legura. Najpopularnija legura za izradu aluminijskog reketa sadrži 2 % silicija i jako malo magnezija, bakra i kroma. Druga često korištena legura za izradu aluminijskog reketa sadrži 10 % cinka i male udjele magnezija, bakra i kroma [13]. Rjeđe korištena legura aluminija s cinkom je tvrđa, ali i krhkija, stoga se većina aluminijskih reketa radi od legure sa silicijem, koja je lakša za oblikovanje. Druga varijanta jeftinijih reketa je izrađena od kombinacije aluminijske legure i kompozita ojačanog ugljičnim ili staklenim vlaknima. Aluminijska legura se koristi kao osnova okvira reketa koja se prevlači kompozitom. Kompozit se u većoj ili manjoj mjeri sastoji od ugljičnih, odnosno staklenih vlakana. Osim ugljičnih i staklenih vlakana, za ojačanja se koriste bor, aramidna (kevlar) i keramička vlakna. Prevlačenjem aluminijskih okvira nastoje se poboljšati svojstva reketa uz minimalne utroške skupih kompozita i uz neznatno

povećanje mase. Međutim, ovakvi reketi danas koriste isključivo početnici koji igraju tenis u rekreativne svrhe jer ovi reketi ne nude jednake performanse kao i kompozitni reketi ojačani ugljičnim vlaknima, nemaju jednaku snagu i mogućnost kontrole putanje loptice.



**Slika 9. Aluminijski juniorski reket Head Radical 21'' (2021)[16]**



**Slika 10. Presjek aluminijskog reketa tvrtke Yonex[17]**

Što se tiče skupljih reketa koje koriste profesionalni i poluprofesionalni igrači, oni su uglavnom izrađeni od 100 % kompozita ojačanog ugljičnim vlaknima ili od kompozita koji sadrže mnogo ugljičnih vlakana, ali i neke druge materijale. Takvi reketi na tržištu koštaju od 150 eura na više, a razlog toj cijeni su skuplji materijali i postupak izrade, ali to je opravdano

performansama koje dobijemo. Kompozitni reketi ojačani ugljičnim vlaknima pružaju jako veliku čvrstoću na jako malu masu. Kompozitni reket koji sadrži samo ugljična vlakna uronjena u polimernu matricu daje osjećaj krutosti i koriste ga igrači koji se oslanjaju na čistu snagu, dok kompozitne rekete s manjim udjelom ugljičnih vlakana biraju igrači čija se igra bazira na brzini i preciznosti jer su ti reketi dosta fleksibilniji [14]. Kompozitnim reketima se smatraju reketi koji su građeni kao sendvič različitih slojeva oko šuplje jezgre ili oko jezgre punjene poliuretanskom pjenom koja pruža dodatnu postojanost [13]. Matrica kompozita je najčešće duromerna, a ojačala osim od ugljičnih vlakana mogu biti i od aramida (kevlara), titanija, volframa, staklenih i keramičkih vlakana. Razlog zašto ugljična vlakna imaju prednost nad aramidnim je ta što je aramid manje gustoće nego ugljična vlakna, krući i više prenosi vibracije, te se ustanovilo da je reket od aramida (kevlara) manje upravljiv i igrač se brže umara igranjem s njime radi vibracija [2]. Važno je napomenuti da postoji više vrsta ugljičnih vlakana koje se uvelike razlikuju u svojstvima, stoga pri izradi kompozitnih reketa ojačanih ugljičnim vlaknima, osim na način slaganja vlakana, treba znati odabrati koju vrstu ugljičnih vlakana koristiti. Općenita podjela ugljičnih vlakana za inženjerske primjene je na vlakna visoke čvrstoće s relativno niskom ili osrednjom razinom Youngova modula elastičnosti i na vlakna visokog modula elastičnosti koja imaju relativno nisku ili osrednju vlačnu čvrstoću [18].

Zadnjih dvadeset godina sve više se istražuje i radi na ugradnji nanomaterijala u sportsku opremu. Nanomaterijali, poput ugljičnih nanocjevčica i silicijevih nanočestica, pridonose povećanju čvrstoće, krutosti, izdržljivosti, otpornosti abraziji, te smanjenju mase sportske opreme. Roger Federer, jedan od najboljih tenisača svih vremena, osvojio je mnogo turnira koristeći reket Wilson Six-One Tour 90 ojačan nanočesticama silicijevog dioksida [19].





Slika 11. Wilson Six-One reket[20]

Postupci trgovačkog naziva nCode i K Factor, korišteni pri izradi ovog reketa, koriste nanokristale silicijeva dioksida za popunjavanje šupljina između ugljičnih vlakana. To je rezultiralo, između ostalog, dvostruko čvršćim reketom [17].



Slika 12. Nanokristali silicijeva dioksida povezuju ugljična vlakna[17]

### 3.3. Materijali izrade mrežice reketa

Teniska mrežica reketu je ono što je motor automobilu. Način umrežavanja i naprežanjem kojom je mrežica nategnuta jako utječu na način kako će se loptica odbiti. Tako primjerice većim naprežanjem mrežice imamo veću kontrolu udarca, ali manju snagu. Osim načina umrežavanja i nategnutosti mrežice, na performanse utječe i materijal same mrežice. Žice se najčešće izrađuju od poliamida, poliesteru i serozne membrane kravljih iznutrica. Ovi materijali raspoređeni su u četiri vrste konstrukcija:

- sintetičko crijevo – izrađeno od poliamidne čvrste jezgre s jednim ili više namota

- multifilament – izrađen od preko tisuću poliamidnih mikrovlakana
- poliester i ko-poliester – monofilament na bazi poliesteru
- prirodno crijevo – izrađeno od niti serozne membrane.

Sintetičko crijevo nudi dobru kvalitetu igre s obzirom na cijenu, najjeftinije je i s njime najčešće igraju početnici. Pod pojmom kvaliteta igre misli se na to kako žice funkcioniraju tijekom igre, uzimajući u obzir čimbenike poput udobnosti, kontrole, izdržljivosti i drugih.

Multifilament je najsličniji prirodnom crijevu, a puno je jeftiniji. Nudi jako dobru kvalitetu igre i ne popušta postavljeno naprezanje. Poliesterska žica nudi izdržljivost uz puno kontrole i spina u udarcima, ali manje snage [21].

Daleko najbolji izbor materijala za izradu žice za mrežicu je prirodno crijevo. Prirodno crijevo koristi se za teniske mrežice još od 19. stoljeća.



**Slika 13. Žica izrađena od prirodnoga crijeva[22]**

Prirodno crijevo pruža najveću udobnost u igri i najdulje zadržava postavljeno naprezanje, te se ne mora mijenjati dok ne pukne. Moguće je postaviti naprezanje na mrežicu točno prema zahtjevima igrača, tj. može biti napregnuta jako za kontrolu ili manje jako za snagu. Strukturni dizajn je ono što čini ovaj materijal posebnim i daje mu najbolja svojstva među materijalima za tenisku mrežicu. U seroznoj membrani nalazi se kolagen čija je funkcija da izdrži rastezanje i kontrakciju crijeva, a to ga čini i pogodnim za teniske žice. Njegova molekularna struktura trostruke spirale osigurava dobru elastičnost i pruža aspekt amortizacije [23]. Iz ovih razloga prirodno crijevo koristi preko 90 % profesionalnih igrača.

#### 4. EKSPERIMENTALNI DIO: ISPITIVANJE TENISKIH REKETA NA SAVIJANJE

U sklopu ovog završnog rada provedeno je ispitivanje teniskih reketa na savijanje, vrstu opterećenja koja je najčešća u rekreacijskom bavljenju tenisom uslijed udaraca reketa od tvrdu podlogu, kao npr. tlo, mrežu ili stup od mreže. Cilj ispitivanja bio je utvrditi koji reket ima najbolju otpornost na savijanje i zašto je to tako. Ispitivanje je provedeno u Laboratoriju za ispitivanje mehaničkih svojstava Fakulteta strojarstva i brodogradnje na univerzalnoj kidalici ispitivanjem na savijanje u tri točke. Donji dio ispitnog uređaja sastoji se od dva oslonca (Slika 14. Univerzalna kidalica s trnom i osloncima u zahvatu s ispitnom tijelom donji dio stroja), dok se gornji dio s indentorom, odnosno trnom utiskuje u ispitno tijelo (Slika 14. Univerzalna kidalica s trnom i osloncima u zahvatu s ispitnom tijelom gornji dio stroja).



**Slika 14. Univerzalna kidalica s trnom i osloncima u zahvatu s ispitnom tijelom**

Reketi koji su korišteni za ispitivanje nabavljeni su iz vlastitih izvora, te nisu novi nego se s njima igralo par godina, što možda utječe na rezultate ispitivanja. Ispitna tijela su dobivena od reketa navedenih u Tablica 1. Reketi korišteni za ispitivanje na savijanje

**Tablica 1. Reketi korišteni za ispitivanje na savijanje**

(Cijene izražene u eurima su trenutne cijene tih reketa [24], [25], [26], [27].)

| <b>Ime</b>                             | Babolat PULSION<br>102<br>(ispitno tijelo 1)                                      | Wilson ULTRA<br>POWER RXT 105<br>(ispitno tijelo 2)                               | Babolat<br>EVOKE 105<br>(ispitno tijelo 3)   | Babolat PULSION<br>105<br>(ispitno tijelo 4)  |
|--|---|---|--|---|
| <b>Izgled</b>                          |  |  |  |  |
| <b>Cijena (EUR)</b>                    | 50  | 71,66   | 66,35  | 92,90   |
| <b>Materijal</b>                       | Dio aluminijska legura, dio kompozit ojačan ugljičnim vlaknima                    | Dio aluminijska legura, dio kompozit ojačan staklenim vlaknima                    | Dio aluminijska legura, dio kompozit ojačan ugljičnim vlaknima                     | Dio aluminijska legura, dio kompozit ojačan ugljičnim vlaknima                      |
| <b>Godina proizvodnje</b>              | 2015.   | 2020.   | 2021.  | 2020.   |
| <b>Masa (g)</b>                        | 270   | 273   | 275  | 260   |
| <b>Veličina glave (cm<sup>2</sup>)</b> | 660   | 677   | 680  | 680   |

#### 4.1. Priprema ispitnih tijela za ispitivanje

Analizom teniskih reketa zaključeno je da reket, iako se većinom prilikom udarca savija pri udaljenosti od 100 mm od sredine vrha glave reketa, na tom području je previše zakrivljen i nije moguće uzimanjem ispitnih tijela iz tog dijela uspješno obaviti ispitivanje. Stoga su ispitna

tijela uzeta na bočnim stranama reketa gdje je zakrivljenost najmanja i dovoljna je duljina ispitnih tijela.



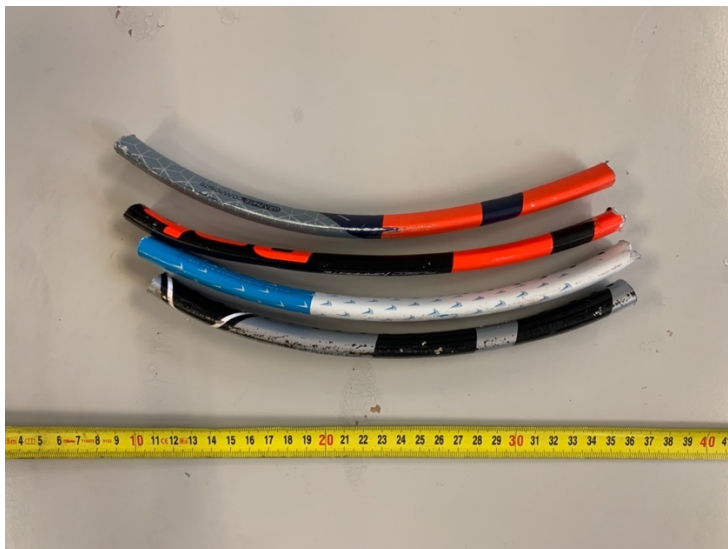
**Slika 15. Reket prije i nakon izrezivanja ispitnih tijela**

Ispitna tijela su postavljena u steznu napravu, te su rezani ručnom pilom za metal na približno istim mjestima svakog reketa. Također, osim ispitnih tijela za ispitivanje na savijanje, poprečno su prerezane i ručke reketa kako bi se ustanovio njihov sastav i način izrade.



**Slika 16. Rezanje ispitnih tijela iz teniskih reketa ručnom pilom**

Unatoč očekivanju da bi rezanje možda moglo biti zahtjevno radi navedenih materijala izrade reketa, ono je bilo poprilično jednostavno i brzo. Dobivena ispitna tijela bila su približno jednake duljine, oko 270 mm.

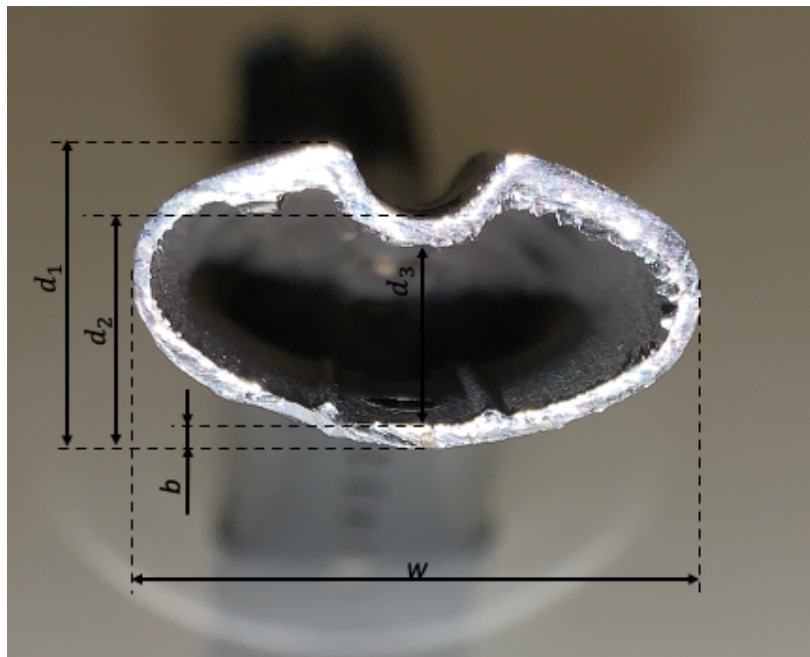


Slika 17. Izrezana ispitna tijela

Dimenzije ispitnih tijela izmjerene su pomičnim mjerilom i dane su u Tablica 2. Dimenzije ispitnih tijela a objašnjenje dimenzija na Slika 18. Dimenzije presjeka ispitnih tijela

Tablica 2. Dimenzije ispitnih tijela

|   | Ispitno tijelo 1 | Ispitno tijelo 2 | Ispitno tijelo 3 | Ispitno tijelo 4 |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Širina (<math>w</math>)</b>              | 23,90            | 25,12            | 22,08            | 24,75            |
| <b>Ukupna visina (<math>d_1</math>)</b>     | 12,00            | 11,60            | 10,70            | 12,39            |
| <b>Visina na sredini (<math>d_2</math>)</b> | 9,90             | 11,60            | 9,20             | 9,90             |
| <b>Visina šupljine (<math>d_3</math>)</b>   | 7,00             | 8,44             | 7,63             | 5,03             |
| <b>Debljina stijenke (<math>b</math>)</b>   | 0,90             | 1,16             | 1,00             | 1,23             |



Slika 18. Dimenzije presjeka ispitnih tijela

#### 4.2. Ispitivanje

Kao što je već rečeno, ispitivanje se odvijalo na univerzalnoj kidalici s nastavcima za ispitivanje na savijanje u tri točke. Razmak između donjih oslonaca iznosi 350 mm, dok je promjer indentora 30 mm. Na oslonce su jedan po jedan postavljena ispitna tijela, te su predopterećena silom od 20 N.



Slika 19. Postavljanje ispitnog tijela 1 u kidalicu

Nakon namještanja ispitnih parametara na računalu koje upravlja kidalicom, započinje spuštanje indentora u ispitno tijelo i mjerenje progiba pri određenim silama, te se crta dijagram sila – progib. Ispitivanje traje dok ne dođe do iznosa progiba od 60 mm, jer je već i pri tom progibu sila savijanja ispitnog tijela postala više-manje konstantna i nastavkom savijanja ispitno tijelo bi mogli saviti i do 90°. Tijek savijanja prikazan je na Slika 20. Tijek ispitivanja u kidalici



**Slika 20. Tijek ispitivanja u kidalici**

Nakon dostizanja traženog progiba od 60 mm ispitna tijela su vađena iz univerzalne kidalice i analizirana.

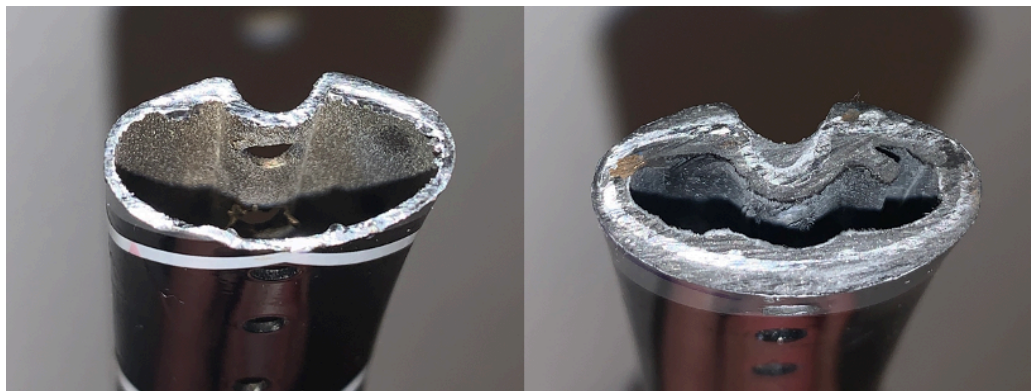


**Slika 21. Ispitna tijela nakon ispitivanja**

#### **4.3. Analiza rezultata ispitivanja**

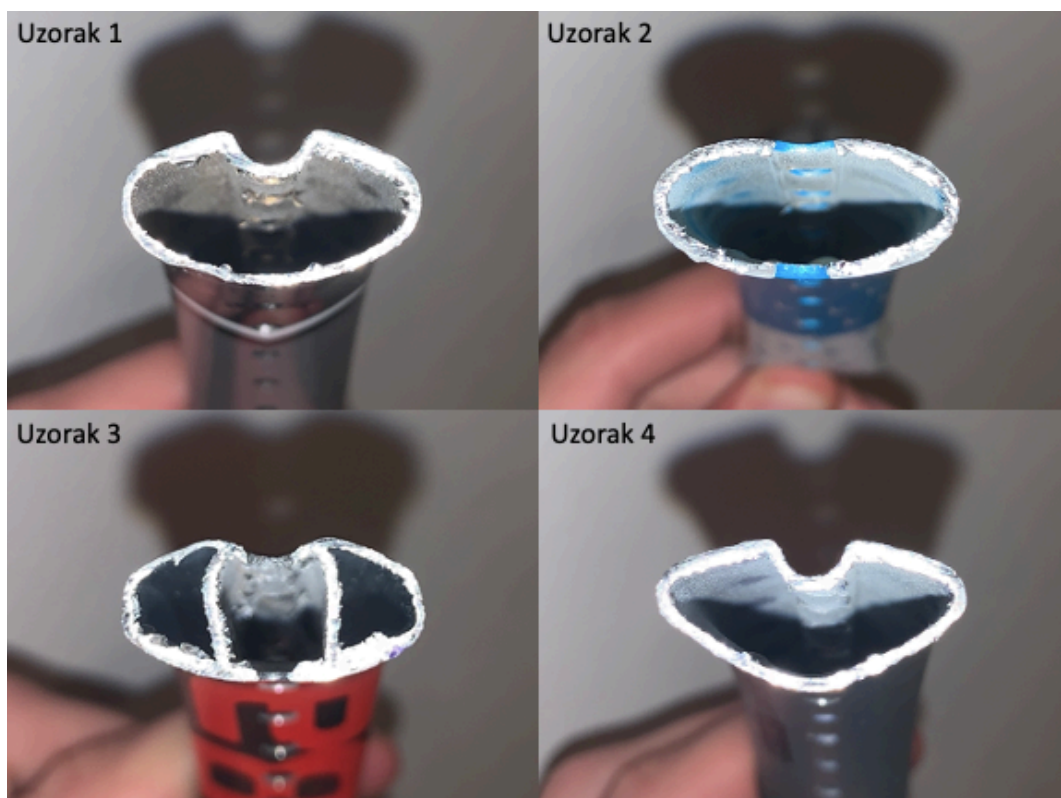
Prilikom rezanja ispitnih tijela za ispitivanje na savijanje očekivani su drugačiji materijali presjeka reketa jer su se tri od četiri reketa oglašavali kao reketa napravljeni od kompozita ojačanog ugljičnim vlaknima, a nigdje se ne spominje da je zapravo većina reketa, prvenstveno glava reketa, izrađena od aluminijske legure. Kod vrata i ručke reketa se nalazi taj oglašavani kompozit ojačan ugljičnim vlaknima.





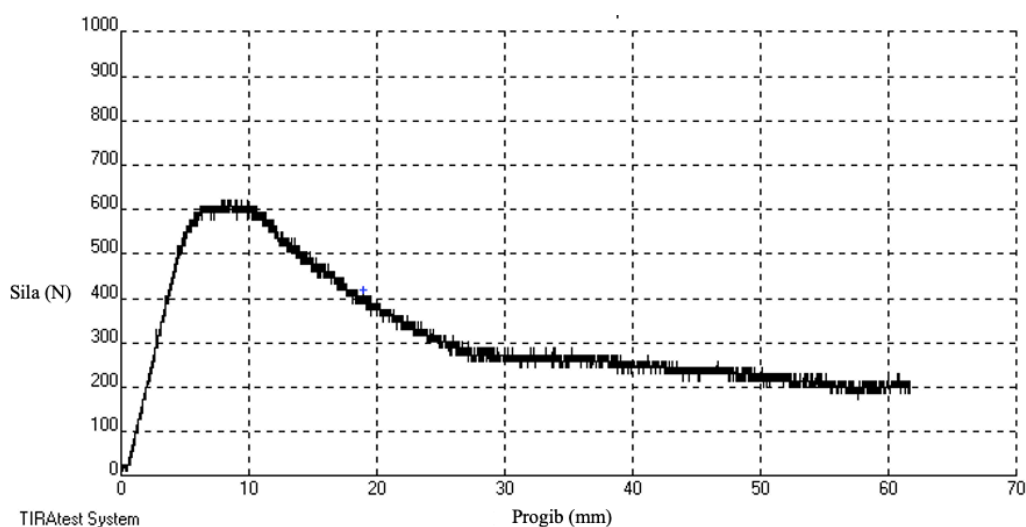
**Slika 22. Presjek ispitnog tijela 1 dalje (lijevo) i bliže (desno) od vrata reketa**

Na Slika 22. Presjek ispitnog tijela 1 dalje (lijevo) i bliže (desno) od vrata reketa vidi se kako je, na dijelu bliže vratu reketa, aluminijski dio glave reketa povezan s vratom i ojačan ugljičnim vlaknima. To je vidljivo i na ispitnom tijelu 4, dok na ispitnom tijelu 2 i 3 nisu uočena ojačanja kompozitima. Također, prilikom rezanja uočeno je da se presjeci ispitnih tijela razlikuju kako dimenzijama tako i izvedbama, odnosno izgledom i oblikom poprečnog presjeka (Slika 2323.).



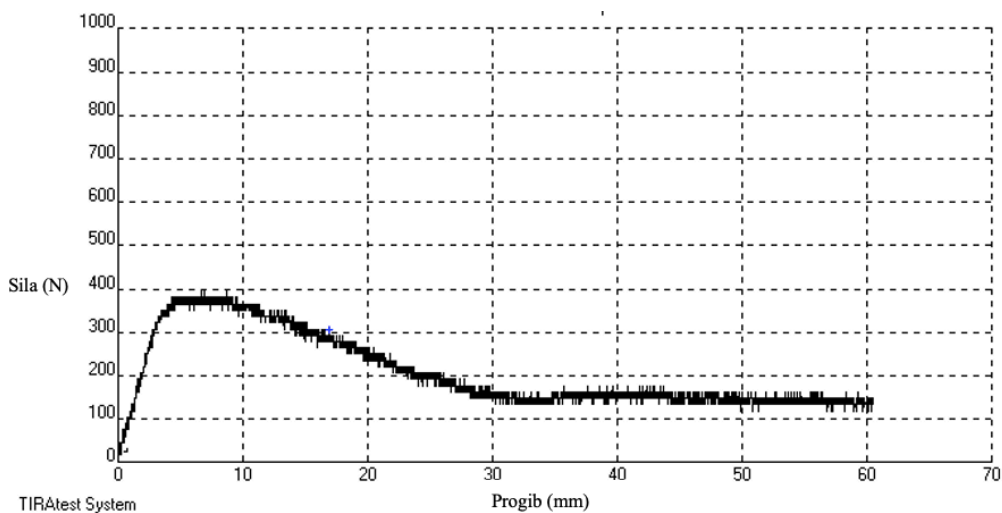
**Slika 23. Presjeci ispitnih tijela nakon rezanja**

Prilikom ispitivanja, na računaru se ispisivao dijagram sila – progib.



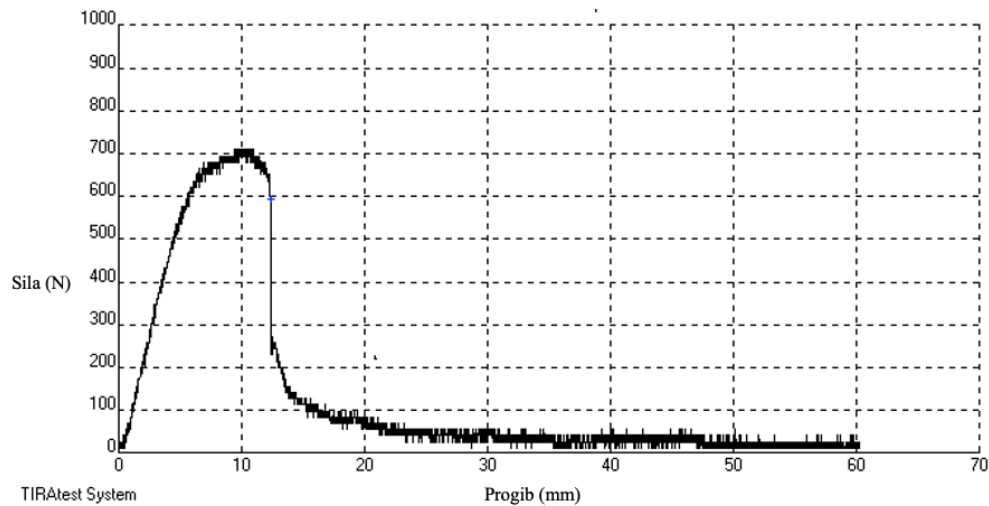
**Slika 24. Dijagram sila – progib za ispitno tijelo 1**

Na Slika 244. prikazan je dijagram sila – progib za ispitno tijelo 1 na kojemu vidimo kako sila potrebna za deformaciju ispitnog tijela raste do maksimalne sile od 620,4 N nakon koje je potrebna sve niža sila da bi se ispitno tijelo savijalo. Prilikom dostizanja progiba od 50 mm ispitno tijelo se deformira pod gotovo konstantnom silom u iznosu 226 N.



**Slika 25. Dijagram sila – progib za ispitno tijelo 2**

Za razliku od ispitnog tijela 1, ispitno tijelo 2 ima maksimalnu silu od 393,6 N što je značajno niže, te pri progibu od 30 mm postiže konstantnu savojnu silu u iznosu 122 N.

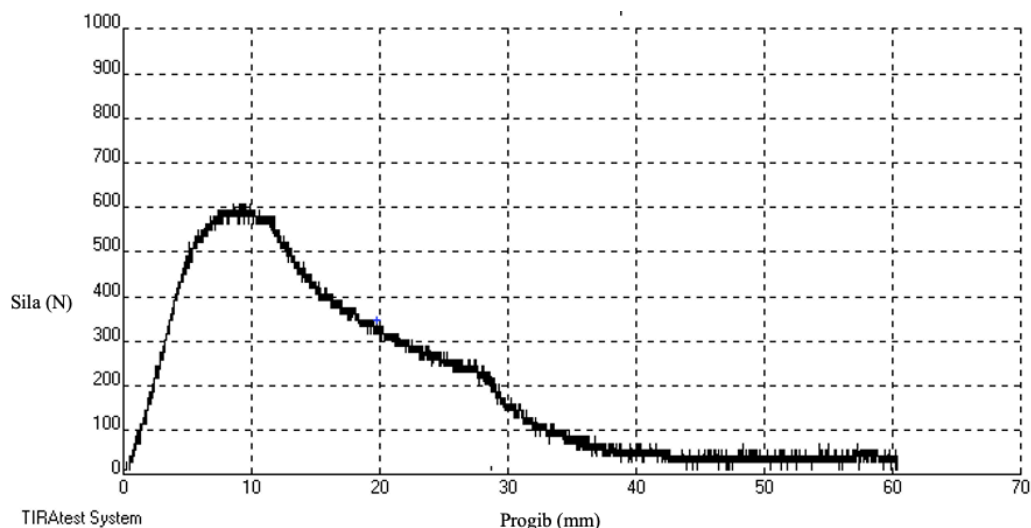


**Slika 26. Dijagram sila – progib za ispitno tijelo 3**

Kod ispitnog tijela 3 primjećuje se znatno drugačiji dijagram. Maksimalna sila kod ispitnog tijela 3 je najveća i iznosi 707,2 N, međutim već kod progiba od oko 12 mm došlo je do stvaranja pukotine u ispitnom tijelu te stoga i do naglog pada sile potrebne za deformaciju ispitnog tijela. Otvaranjem pukotine konstantna sila potrebna za deformaciju je spala na 6,1 N.



**Slika 27. Pukotina na ispitnom tijelu 3**



**Slika 28. Dijagram sila – progib za ispitno tijelo 4**

Savijanjem ispitnog tijela 4 maksimalna sila, postignuta pri progibu od 9 mm, iznosi 606,8 N, a pri progibu od oko 13 mm također dolazi do pojave male pukotine. Pukotina je bila manja i mnogo se sporije širila nego kod ispitnog tijela 3, stoga dijagram sila – progib nema tako nagli pad. Kod progiba od 37 mm, sila potrebna za deformiranje pri konstantnoj brzini iznosi 30,4 N.



**Slika 29. Pukotina na ispitnom tijelu 4**

Nakon analize dijagrama i usporedbe rezultata, daje se zaključiti da najbolju otpornost na savijanje ima ispitno tijelo 3 jer, iako je došlo do stvaranja pukotine, najveća je sila bila potrebna za početak plastične deformacije ispitnog tijela. Međutim, stvaranje pukotine upućuje na to da ispitna tijela 3 i 4 nisu otporna na lom kao ispitna tijela 1 i 2. Smatra se da su ovakvi rezultati posljedica konstrukcijske izvedbe reketa, odnosno njihovog poprečnog presjeka. Tako ispitno tijelo 3, koje ima po sredini presjeka dva poprečna ojačanja, tj. ukrepe (Slika 2323.), takvo ispitno tijelo postiže najveću silu jer je smjer sile savijanja paralelan s ojačanjima. Maksimalna sila savijanja bi bila još i veća za takav oblik konstrukcije, ali materijal nije dovoljno čvrst. Za razliku od ispitnog tijela 3, ispitno tijelo 2 ima najlošije konstrukcijsko rješenje presjeka, te će

se ono puno više saviti prije pojave pukotine. Svi ovi zaključci dani su pod pretpostavkom da su sva ispitna tijela izrađena od jednakih aluminijskih legura.

#### 4.4. Analiza izvedbi ručki reketa

Nakon poprečnog rezanja ručki reketa opažena su dva različita načina izrade ručki. Kod ispitnih tijela 2 i 3, aluminijski dio okvira reketa se nastavlja i oblikuje ručku reketa. Ispitna tijela 1 i 4 nemaju aluminijskih dijelova u ručki, već su ručka i vrat reketa izrađeni od cijevi od kompozita ojačanog ugljičnim vlaknima. Šupljina između dvije aluminijske odnosno kompozitne cijevi, ispunjena je poliuretanskom pjenom ili sličnim punilom da bi se dobila veća krutost, tj. postojanost oblika ručke. Ispitna tijela 2 i 3 obložena su kompozitom od polimerne matrice i ugljičnih vlakana kod ispitnog tijela 3, odnosno staklenih vlakana kod ispitnog tijela 2. Sama završna površina ručke kod svih ispitnih tijela oblikovana je nanošenjem polimera u osmerokut koji ima dvije nasuprotne stranice duže od ostalih.



Slika 30. Poprečni presjeci ručki reketa

## 5. ZAKLJUČAK

Moderni teniski reketi napravljeni su od raznih materijala, pri čemu svaki materijal sa svojim jedinstvenim svojstvima utječe na ponašanje reketa u igri. Teniski reketi uvelike su napredovali od prvih drvenih reketa, preko teških metalnih, aluminijskih reketa do modernih kompozitnih reketa. Napretkom opreme za igru napredovala je i sama igra i danas ima milijune zaljubljenika. Iako su u eksperimentalnom dijelu ovog rada analizirani reketi za rekreativce, može se zaključiti da i kod reketa za rekreativce veliki utjecaj na svojstva imaju konstrukcijska rješenja i materijal izrade reketa. Odabir pravog materijala za izradu teniskog reketa iznimno je važan za individualne potrebe i želje svakog igrača. Svaki igrač ima svoj određeni željeni stupanj snage, kontrole i stabilnosti, a odabirom pravog materijala mogu se postići željena svojstva. Pravilno odabrani teniski reket može pomoći igraču da dostigne svoj maksimalni potencijal na terenu.

## LITERATURA

- [1] „Tennis | Rules, History, Prominent Players, & Facts | Britannica“. <https://www.britannica.com/sports/tennis#ref29701> (pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [2] „The History of Tennis Rackets. - FansAbout Sports Listings“. <https://fansabout.com/the-history-of-tennis-rackets/> (pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [3] L. Taraborrelli *i ostali*, „Materials have driven the historical development of the Tennis Racket“, *Applied Sciences (Switzerland)*, sv. 9, izd. 20, lis. 2019., doi: 10.3390/app9204352.
- [4] „HISTORY OF RACKETS AND STRINGS“, 2019., (pristupljeno: 5. veljače 2023.) [Na internetu]. Dostupno na: [www.itftennis.com](http://www.itftennis.com)
- [5] „Wooden Racquet Construction“. <http://tennishistory.com.au/2008/07/wooden-racquets/> (pristupljeno: 6. veljače 2023.).
- [6] „BBC SPORT | Tennis | Rules and Equipment | The quest for the tennis sweet spot“. [http://news.bbc.co.uk/sport2/hi/tennis/rules\\_and\\_equipment/4227178.stm](http://news.bbc.co.uk/sport2/hi/tennis/rules_and_equipment/4227178.stm) (pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [7] „Jimmy Connors - T2000“. <https://racquets.tennisfame.com/metal-composite/jimmy-connors> (pristupljeno: 6. veljače 2023.).
- [8] „Pam Shriver - Prince Classic“. <https://racquets.tennisfame.com/oversized/pam-shriver> (pristupljeno: 6. veljače 2023.).
- [9] „An Evolutionary History of Tennis Racquets“. <https://www.liveabout.com/an-evolutionary-history-of-tennis-racquets-3208185> (pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [10] „ITF RULES OF TENNIS“, 2023., (pristupljeno: 5. veljače 2023.) [Na internetu]. Dostupno na: [www.itftennis.com](http://www.itftennis.com)
- [11] „Stefanie Graf - Max 200G“. <https://racquets.tennisfame.com/graphite/stefanie-graf> (pristupljeno: 6. veljače 2023.).
- [12] T. Filetin, *Izbor materijala pri razvoju proizvoda*. Zagreb, 2000.
- [13] „How tennis racket is made - material, making, used, parts, steps, machine, Raw Materials“. <http://www.madehow.com/Volume-3/Tennis-Racket.html> (pristupljeno: 5. veljače 2023.).

- [14] „What Are Tennis Rackets Made Of? - Discovery UK“.  
<https://www.discoveryuk.com/how-its-made/what-are-tennis-rackets-made-of/>  
(pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [15] „Wilson Clash 108 V2 Tennis Racquet » Strung Out“.  
<https://strungout.com.au/product/wilson-clash-108-v2-tennis-racquet/>  
(pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [16] „Head Radical 21" Junior Aluminium Tennis Racket (2021) | Stringers' World - The UK's Leading Racket Sports Specialist“.  
<https://www.stringersworld.com/product/head-radical-21-aluminium-tennis-racket-2021/> (pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [17] „What Technologies are you selling? (Part 3 of 3) - Tennis Industry“.  
[http://www.tennisindustrymag.com/articles/2009/08/16\\_what\\_technologies\\_are\\_you\\_selling.html#prettyPhoto](http://www.tennisindustrymag.com/articles/2009/08/16_what_technologies_are_you_selling.html#prettyPhoto) (pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [18] F. Valorosi *i ostali*, „Graphene and related materials in hierarchical fiber composites: Production techniques and key industrial benefits“, *Compos Sci Technol*, sv. 185, str. 107848, sij. 2020., doi: 10.1016/J.COMPSCITECH.2019.107848.
- [19] „Nanotechnology in sports equipment: The game changer“.  
<https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=30661.php>  
(pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [20] „Federer's racket, Wilson Six.One Tour BLX - Tennisnerd.net“.  
<https://tennisnerd.net/gear/federers-racket-wilson-six-one-tour-blx/99>  
(pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [21] „All About Tennis Strings“.  
[https://www.tennis-warehouse.com/learning\\_center/gear\\_guides/tennis\\_string/material\\_gauge\\_tension\\_explained.html](https://www.tennis-warehouse.com/learning_center/gear_guides/tennis_string/material_gauge_tension_explained.html) (pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [22] „Tennis Warehouse - Babolat Touch VS Natural Gut 16/1.30 String Review“.  
[https://www.tennis-warehouse.com/learning\\_center/string\\_reviews/BNG16review.html](https://www.tennis-warehouse.com/learning_center/string_reviews/BNG16review.html)  
(pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [23] „Natural Gut Strings - Tennis Warehouse“.  
<https://www.tennis-warehouse.com/LC/Naturalgut.html>  
(pristupljeno: 5. veljače 2023.).
- [24] „Babolat Pulsion 102 Tennis Racket - Black/Grey - Tennisnuts.com“.  
<https://www.tennisnuts.com/babolat-pulsion-102-tennis-racket-1255519.html>



(pristupljeno: 5. veljače 2023.).

[25] „Wilson ULTRA POWER RXT 105, muški reket za tenis, plava | Intersport“.

<https://www.intersport.hr/wilson-ultra-power-rxt-105-muski-reket-za-tenis-597206>

(pristupljeno: 5. veljače 2023.).

[26] „Babolat EVOKE 105, muški reket za tenis, crna | Intersport“.

<https://www.intersport.hr/babolat-evoke-105-muski-reket-za-tenis-631767>

(pristupljeno: 5. veljače 2023.).

[27] „Babolat PULSION 105, muški reket za tenis, plava | Intersport“.

<https://www.intersport.hr/babolat-pulsion-105-muski-reket-za-tenis-688537>

(pristupljeno: 5. veljače 2023.).