



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

RÁMY TENISOVÝCH RAKET

FRAMES OF TENNIS RACKETS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Rajdlík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Mollíková, Ph.D., Paed IGIP

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství
Student: **Lukáš Rajdlík**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Eva Mollíková, Ph.D., Paed IGIP**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Rámy tenisových raket

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce pojednává rešeršní formou o materiálech používaných na konstrukci rámců tenisových raket.

Cíle bakalářské práce:

Student ve své práci

- shrne historický vývoj konstrukce rámců tenisových raket a materiálů používaných pro jejich výrobu
- stručně popíše možné aplikace současných technických materiálů pro výrobu raket
- rozebere požadavky, které jsou přítom na technické materiály kladeny

Seznam doporučené literatury:

Askeland, D. R., Phulé, P. P. The Science and Engineering of Materials. 5th ed. UK: Thomson, 2006. ISBN 0-534-55396-6.

Callister, W. D. Material Science and Engineering, An Introduction. GB: John Willey and Sons, 2003. ISBN: 0-471-22471-5.

Seymour, R. B. Polymers for Engineering Applications. USA: ASTM, 1987. ISBN 0-87170-247-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je seznámení se s materiály používanými k výrobě rámu tenisových raket. Práce se zabývá postupným vývojem rámu od počátku tenisu až k současnému využití moderních technologií. Jsou zde popsány jednotlivé části rámu tenisových raket a požadavky, které jsou kladeny na konstrukci rámu včetně použitých materiálů. V praktické části jsou zkoumány dva různé vzorky tenisových raket, jejich rozdíly ve tvaru rámu a ve struktuře použitých materiálů.

Klíčová slova

Tenisová raketa, rám tenisové rakety, grafit, tungsten, pevnost v ohybu, sweet spot

Abstract

This bachelor's thesis deals with materials used for manufacturing of the frame of tennis rackets. The thesis informs about the frame of tennis rackets development, from the origins of tennis to these days, when there are modern technologies used. There are parts of the frame of a tennis racket and construction requirements defined. There are two samples of tennis rackets investigated and the both samples are compared with each other.

Keywords

Tennis racket, the frame of a tennis racket, graphite, tungsten, bending stiffness, sweet spot

Bibliografická citace

RAJDLÍK, L. *Rámy tenisových raket*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Rámy tenisových raket vypracoval samostatně na základě uvedených zdrojů a na základě konzultací s vedoucím práce.

V Brně dne 26.5.2017

.....
Rajdlík Lukáš

Poděkování

Děkuji paní Ing. Evě Mollikové, Ph.D., Paed IGIP za odborné vedení práce, velmi cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce. Také děkuji paní Ing. Drahomíře Janové za poskytnutí snímků vzorků z mikroskopu. Dále děkuji panu Jaroslavu Strakovi a Jiřímu Šefčíkovi za poskytnuté vzorky tenisových raket.

Obsah

1. Cíl práce	9
2. Úvod	10
3. Historie	10
3.1. Historie tenisu	10
3.2. Dřevěné tenisové rakety	11
3.3. Kovové tenisové rakety	12
3.4. Kompozitní tenisové rakety	13
4. Nejnovější technologie	14
4.1. Babolat	14
4.2. Head	15
4.3. Prince	15
4.4. Wilson	15
5. Tvar tenisové rakety	16
6. Vlastnosti tenisové rakety	18
7. Výroba tenisových raket	21
7.1. Výroba dřevěných tenisových raket	21
7.2. Výroba hliníkových tenisových raket	22
7.3. Výroba kompozitních tenisových raket	23
8. Praktická část	24
8.1. Vzorek 1	24
8.1.1. Příprava a popis vzorků	24
8.1.2. Lomy vzorku 1	28
8.2. Vzorek 2	32
8.2.1. Příprava a popis vzorků	32
8.2.2. Lomy vzorku 2	34
8.3. Porovnání obou vzorků tenisových raket	39
9. Závěr	43
Seznam použité literatury	44

1. Cíle práce

Cílem bakalářské práce je popsat historický vývoj konstrukce rámu tenisových raket a materiálů používaných pro jejich výrobu. Práce seznamuje také s požadavky, které jsou kladeny na technické materiály a konstrukci rámu tenisových raket. Současně se zabývá aplikací moderních technických materiálů pro jejich výrobu.

Praktická část zkoumá rozdíly v konstrukci a použitých materiálech rámu dvou vzorků tenisových raket.

2. Úvod

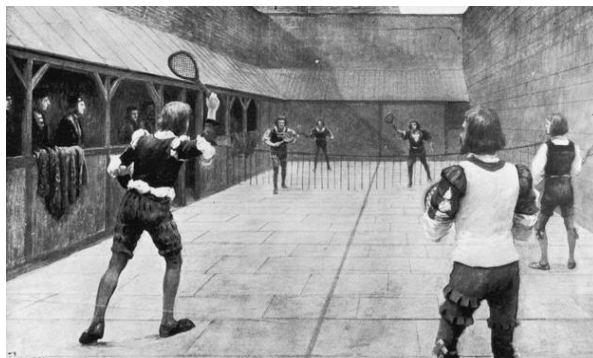
Tenisová raketa musí při hře plně vyhovovat potřebám hráče. To z ní dělá nejdůležitější část herního inventáře. Na trhu je nabízeno nepřehledné množství různých tenisových raket lišících se svými vlastnostmi tak, aby bylo vyhověno individuálním požadavkům každého hráče. Z těchto vlastností jsou nejdůležitější vyvážení, velikost a hmotnost rakety, ale také rozměry rukojeti a hlavy tenisové rakety.

3. Historie

3.1. Historie tenisu [1,3,4,5,6]

Hry, při kterých se odrazil malý míček přes síť za pomoci ruky, nebo později pátky, byly známé již v antice. U Římanů to byl trigon založený na podobném principu jako dnešní tenis. Hráči odrazili těžkými pátkami míče naplněné fíkovými zrny.

Tenis se pravděpodobně vyvinul z míčové hry, která se rozšířila ve 14. století ve Francii. Byla protikladem rytířských turnajů a dávala příležitost galantním projevům ve smíšené hře mužů i žen. Míč byl původně odpalován holou rukou, jelikož však docházelo k častým zraněním, hráči si omotávali ruce pruhy kůže, později koženými rukavicemi. Začaly se používat různé pátky, které v průběhu 15. století vedly k vytvoření prvních tenisových raket. Tyto rakety byly menší, než dnešní rakety a byly vypletené nejrůznějšími druhy výpletů, např. zvířecími střívkami nebo koženými strunami. V 16. a 17. století se tato hra rozšířila z Francie do střední a západní Evropy. K nám se dostala z Německa. V Anglii se tomuto sportu začalo říkat tenis. Hra získávala oblibu a hrála se i ve vyšších vrstvách obyvatelstva. Tradiuje se, že i Jindřich VIII. byl velmi dobrým hráčem.



Obr. 1 Tenis v dobách vlády Jindřicha VIII. (počátek 15. stol.) [3]

Za počátek tenisu je považován rok 1873, kdy major Walter Clopton Wingfield ze severního Walesu vydal první knihu pravidel. Také si nechal patentovat vybavení pro venkovní tenis. Specifikoval tvar a velikost kurtu a parametry tenisových míčů, přičemž zde neuvedl žádné specifikace pro velikost, tvar ani materiál tenisových raket.

Počátek vzniku tenisových raket můžeme datovat do roku 1675, kdy byla vyrobena první dřevěná tenisová raketa a jejím výrobcem byl tenista Mitelli z Bollogne. Éra dřevěných tenisových raket trvala až do roku 1965.

V 60. letech 20. století si nechal francouzský tenista René Lacoste patentovat kovovou raketu. Tento patent vedl k tomu, že dřevěné tenisové rakety ztratily na významu. Vedle ocelových raket se ve stejném čase začaly vyrábět rakety hliníkové.

V polovině 70. let začaly vznikat první rakety z kompozitních materiálů. V roce 1981 Mezinárodní tenisová federace přijala pravidla, která definovala tenisové rakety. Federace zakázala rakety používané od roku 1977, které měly novou techniku výpletu, tzv. špagetový výplet. Tato technika spočívala ve vypletení rakety dvěma řadami dlouhých strun, mezi které

byly vpleteny další struny, napnuté pomocí rybářského vlasce. Docházelo zde k tomu, že míč pronikl až na druhou řadu strun, která ho vymrštila a zároveň mu udělila velkou rotaci. Dalo se tak hrát s velkou razancí a míč měl při dopadu neodhadnutelný odskok. První pravidla, která se týkala tenisových raket, umožňovala použití libovolných materiálů na rám i výplet a nelimitovala hmotnost ani tvar rakety, ale definovala tvar a vlastnosti výpletu. Od té doby platí pravidlo, že raketa nesmí být širší než 31,75 cm a plocha výpletu nesmí být vyšší než 39,37 cm a širší než 29,21 cm. Roku 1997 nabyl platnosti zákon o celkové délce rakety, která nesmí přesáhnout 29 palců (73,66 cm). Toto pravidlo se od roku 2000 nevztahuje na amatérské hráče. Současná pravidla tenisu kladou důraz na to, aby úderná plocha rakety byla rovná a byla tvořena překříženým výpletem strun připojených na rám. Jednotlivé struny musí být střídavě propletené nebo spojené v místech překřížení.

V průběhu 90. let byly vyrobeny první tenisové rakety z kompozitních materiálů, uhlík byl nejčastěji jednou složkou. Důvodem byla snaha o snížení hmotnosti a zlepšení mechanických vlastností.

3.2. Dřevěné tenisové rakety [1,3,5]

Dřevěná raketa je složena z hlavy, krčku a rukojeti. Rukojeť je osmiboká a bývá potažená kůží. Obvod rukojeti měří 12 až 14 centimetrů. Pro muže se váha těchto raket pohybovala kolem 13,5 až 14 uncí (1 unce = 28,35 g) a pro ženy 13 až 13,5 unce.

V roce 1675 vznikla první dřevěná tenisová raketa a jejím tvůrcem byl tenista Mitelli z Bollogne. Výplet byl veden otvorem z rámu a držadlo bylo omotáno zvířecí kůží.

Nejčastějším materiálem používaným na výrobu dřevěných raket bylo jasanové dřevo. Jasanové dřevo bylo ceněné především pro své vlastnosti při ohýbání, vhodnou houževnatost v rázu a pevnost v tlaku a ohybu. Je také dobře opracovatelné strojně. Tento druh dřeva se dobře lepí, moří a lakuje. Mezi jeho nevýhody patří nepříliš velká trvanlivost a náchylnost na napadení červotočem.

Na přelomu 17. století se však jasanové dřevo stalo nedostatkovým materiálem. Výrobci raket byly nuceni začít využívat i jiné druhy dřeva, např. habr nebo javor, neboť měly vhodnou sílu a tuhost. Postupem času dřevěné rakety prošly mnohými změnami tvaru, velikosti a hmotnosti. Velkou nevýhodou však bylo, že dřevo je náchylné na počasí, jelikož má schopnost absorbovat vlhkost a tím se měnily vlastnosti dřevěných raket. Mezi další nevýhodu můžeme počítat velkou hmotnost rakety a malou tuhost v ohybu, což zapříčinilo kroucení rámu. Aby se zabránilo měnění tvaru raket, musely se využívat speciální rovnače raket.

Ve 40. letech 20. století došlo k mechanizaci výroby dřevěných rámu tenisových raket, což umožňovalo použití laminovaných konstrukcí, které se skládaly z více tenkých vrstev materiálu, spojených formaldehydovými pojivky. Tyto vrstvy mohly být spojeny a snadno tvarovány, což vedlo ke zlepšení vlastností dřeva. Dávalo jim to dodatečnou sílu, potřebnou k vyrovnání se se zvýšenou zátěží, způsobenou použitím tvrdších míčů. Řada výrobců začala své rakety barevně zdobit, oproti původně přírodnímu zbarvení. Tyto rakety byly standardizovány, přestože výroba ani parametry nebyly specifikovány. Dřevěné rakety se nejvíce vyráběly do počátku 80. let 20. století, kdy byly nahrazeny raketami z kovových a později z kompozitních materiálů.



Obr. 2 Laminovaná konstrukce tenisové rakety Artis Korund obepíná dřevěný klínek tvořící srdce rakety.

Dnes už se dřevěné rakety téměř nevyrábí. Grays z Cambridge v Anglii je jednou z mála posledních firem, které vlastní zařízení na výrobu dřevěných rámu.

3.3. Kovové tenisové rakety [3,4,6,8]

První kovovou raketu si nechal patentovat René Lacoste. Tato raketa měla kovový výplet a otevřený krk. Oproti dřevěným raketám byla lehčí, vyváženější a měla lepší odpor vzduchu, což umožňovalo rychlejší pohyb.

První komerčně úspěšná nedřevěná raketa se začala vyrábět v roce 1967 a nesla označení Wilson T2000 a používal ji například Jimmy Connors, který s ní vyhrál Wimbledon v letech 1974 a 1982. Rám byl vyroben pouze z **oceli**. Nevýhodou byl velký přenos vibrací. Za touto raketou následovaly ještě modely T3000 a T5000, které nesly různá vylepšení, avšak nezabránilo tomu, že koncem 80. let 20. století byly kovové rakety nahrazeny novými materiály, jako grafit a kompozitní materiály.



Obr. 3 Tenisová raketa Wilson T2000 v provedení pro obouruční backhand (nahore) a jednoruční. Liší se délkou rukojeti. [7]

Souběžně s ocelovými raketami byly vyráběny i rakety **hliníkové**. Arthur Ashe byl první, komu se podařilo vyhrát grand slam s hliníkovou raketou, když zvítězil v roce 1968 na US Open. Tenisové rakety z hliníkových slitin se vyrábí dodnes. Hlavní složkou materiálu při výrobě těchto raket je hliník, dále je zde přítomno více druhů příměsí. Mezi nejpopulárnější příměsí patří křemík (okolo 2%), spolu s hořčíkem, mědí a chromem. Další široce používanou

příměsí je zinek (10%) s hořčíkem, mědí a chromem. Zinková příměs je oproti křemíkové tvrdší, ale křehčí.

Tenisové rakety z hliníkových slitin jsou používány i dnes. Tento typ materiálu je lehčí a snadněji ovladatelný. Také má poměrně velkou odolnost. Výhodou je i nižší výrobní cena. Tento materiál však poskytuje menší množství důležitých herních vlastností. Hlavní nevýhodou je poměrně velký přenos nárazů do ruky, což způsobuje tenisové lokte a bolest kloubů. Rakety z hliníkových slitin volí spíše začátečníci a děti, neboť jsou vhodné na dobré seznámení s hrou, ale na pravidelné hraní je doporučeno zainvestovat do dražší, např. kompozitní tenisové rakety.

Na výrobu kovových tenisových raket se používá také **titan**. Jeho výhodami jsou nízká hmotnost a velká síla při úderu. Tento materiál postupně nahrazuje hliník, jakožto alternativní náhrada. Tyto titanové rakety jsou také levné, ale oproti hliníkovým raketám poskytují větší množství herních vlastností, avšak kompozitní tenisové rakety jsou stále v tomto ohledu lepší.

3.4. Kompozitní tenisové rakety [3,4,5,8]

Kompozit je materiál, který je vyroben kombinací dvou složek, z nichž má každá rozdílné vlastnosti, než výsledný materiál.

V polovině 70. let vyrobil Howard Head pro společnost Prince kompozitní raketu s nadměrně velikou hlavou. Profesionální hráči se jí zpočátku vyhýbali, ale rekreační hráči rychle objevili, že se s ní dá snadněji trefit míček. Rakety tohoto druhu měly téměř dvojnásobný sweet spot (pružné místo, ve kterém mají odehrané míče nejlepší odraz a zrychlení) oproti jiným raketám a tudíž hra s ní byla pro mnoho lidí jednodušší, umožňovala také tvrdší a přesnější hru. Větší rakety se staly na počátku 80. let oblíbenými na všech úrovních tenisu. Mezi nejslavnější zástupce patří raketa Dunlop Max 200G, se kterou hráli například John McEnroe a Steffi Graf.

V 90. letech se tenisové rakety začaly vyrábět z nejmodernějších materiálů, jako jsou například keramické materiály, fiberglass, kevlar a titan, ve většině případů spolu s grafitem. Pod pojmem grafit zde rozumíme tkaninu zhotovenou z uhlíkových vláken, prosycených blíž neurčenou pryskyřicí. Cílem bylo především, aby raketa měla menší hmotnost, velkou pevnost a malé přenosy vibrací. K tomu bylo nutno přizpůsobit i tvar raket. Musely být robustnější, aby vydržely rostoucí tlak, přičemž právě díky novým materiálům, které byly lehčí, došlo i ke snížení hmotnosti.

Velikou revoluci v použitých materiálech způsobila firma Head s jejich raketou Titanium. Tato raketa měla konstrukci z ultrapevného titanu a ultralehkých grafitových vláken, což umožňovalo rapidní snížení hmotnosti a zároveň optimální pružnost a sílu, přičemž vibrace přenesené na ruku byly minimální. Z této konstrukce vycházeli téměř všichni novodobí výrobci tenisových raket.

Grafitové tenisové rakety patří v současnosti mezi nejvíce používané tenisové rakety. Grafit umožnil větší variabilitu v designu tenisových raket. Začátek těchto raket umožnil dělat rakety s většími hlavami. Hlavní výhodou grafitu je jeho vysoká pevnost při poměrně malé hmotnosti. Na výrobu může být použit čistý nebo kompozitní grafit. Výhodou čistého grafitu je jeho vysoká tuhost. Kompozitní grafit se skládá z grafitu a dalšího kompozitního materiálu, jakým může být fiberglass, kevlar, měď, bór, wolfram, titan apod., z nichž každý zlepšuje určité vlastnosti. Příměs fiberglass zlepšuje pohlcování vibrací, naopak bór a kevlar zlepšují odolnost

a tuhost rakety, přičemž přenáší velké množství vibrací do ruky. Titan a uhlík se přidává z důvodu zvýšení tuhosti a odolnosti rakety hlavně v nejnamáhavějších částech rakety, kterými je krček a hlava rakety.

4. Nejnovější technologie

Dnes se výrobou tenisových raket zabývají především firmy Wilson Sporting Goods (USA), Price Sports (USA), Babolat (Francie), Dunlop Sport (Velká Británie), Head (Nizozemsko) a Yonex (Japonsko).

V minulosti to byly především firmy Lacoste (Francie) a Spalding Sports Equipment (USA).

4.1. Babolat [9,10]

Babolat Elliptic Geometry – raketa má ideální eliptický tvar, který se snaží zabezpečit co nejlepší torzní odpor a nejvyšší odolnost při rotaci a ohýbání. Rám je až o 20% tužší než klasický rám. Používá se například u rakety Babolat Evoke 105 Wimbledon, Babolat Evoke 102 2016, Babolat Pure Drive Play a Babolat Pulsion 105 2015.

Babolat Cortex Dampening System (Cortex tlumicí systém, zkratka CDS) – raketa je obohacena o měkký tlumicí systém Cortex. Tento systém je umístěn po obou stranách krčku rakety. Jeho cílem je co nejefektivnější tlumení negativních vibrací, což jsou vibrace o vysoké frekvenci, které zhoršují cit v ruce. Vibrace s nízkou frekvencí, které zajišťují cit pro míč, tento systém propustí. Použitím tohoto systému se získá více informací do ruky a tím je zlepšená kontrola míče. Tato technologie se dá poznat podle části na konci rukojeti, která je ve tvaru písmene V. Tento prvek obsahují například rakety Babolat Pure Drive Lite.



Obr. 4 Babolat Cortex Dampening Systém [10]

Babolat GT Technology (Graphite-Tungsten) – tato technologie využívá zkřížených vrstev grafitu a tenkých vrstev tungstenu integrovaných do celého rámu rakety. Pod pojmem tungsten se rozumí výsledná tkanina. Tungstenová vlákna jsou koncentrována na různých strategických místech rakety (vyšší koncentrace je hlavně v jádře rakety). Touto technologií je dosaženo maximální torzní stability (zvýšená kontrola) a obnovy energie v jádře rakety (dodatečná síla, až o 10% větší dodatečná energie). Tungsten je Hi-Tech vlákno, které se využívá v leteckém a kosmickém průmyslu. Je vysoce ceněno pro vysokou pevnost a vlastnosti v tahu. Této technologii je využito v raketě Babolat Pure Drive Lite, Babolat Aero Pro Drive GT a Babolat Pure Drive Play.

Babolat Woofler System – technologie, která jako první umožňuje interakci rámu a strun při zásahu rakety do míče, což poskytuje až o 25% více kontaktního času a získáme díky tomu větší kontrolu úderu a větší komfort při hře. Této technologii je využito v raketě Babolat Pure Drive Lite, Babolat Aero Pro Drive GT, Babolat Pure Drive Play.

Babolat Intermediate Cortex – využívá se konstrukce, která využívá dvou vrstev materiálů Cortex Dampening System (viz. výše). Jeden CDS je pro maximální cit a druhý CDS je o 20% pružnější, což zajišťuje lepší komfort ze hry. Této konstrukce je využito v raketě Babolat Pure Drive Play.

4.2. Head [10,11,12]

HEAD Graphene – materiál, který je 200x pevnější v ohybu než ocel. Jediná prostorová vrstva uhlíku, díky které se redukuje váha ve střední části rakety, umožňuje přesunout váhu do rukojeti a hlavy rakety. Zabezpečuje lepší ovladatelnost, lehčí švih a silnější údery. Tato technologie je využita například v raketě Head Graphene Extreme Lite.

HEAD Metallix – tento materiál obsahuje speciální matici karbonových vláken a krystalickou kovovou směs. Velikost jejich částic je až tisíckrát menší než u typického kovu. Z Hall-Petchova vztahu platí, že čím menší částice budou, tím silnější materiál je. Výsledkem je lehká, silná a pevná raketa. Tuto technologii využívá raketa HEAD MX Attitude Elite

Innegra – vysoce výkonné vlákno, které se charakterizuje velmi nízkou váhou, odolností proti nárazu, tlumení nárazů a rozptýlení napětí. Tato vlákna obsahuje raketa HEAD IG Challenge MP.



Obr. 5 Vláknó Innegra navinuté na ruličce [12]

4.3. Prince [10,11]

Prince O3 Technology – vršek hlavy a most tenisové rakety neobsahují výstelky pro výplet, který je omotán a držen mezi kruhovými dírami, čímž je umožněn pohyb strun výpletu. Tím je dosaženo větší razance při úderu a zvětšení sweet spotu až o 54%. Tuto technologii využívá raketa Prince O3 Sweetport.

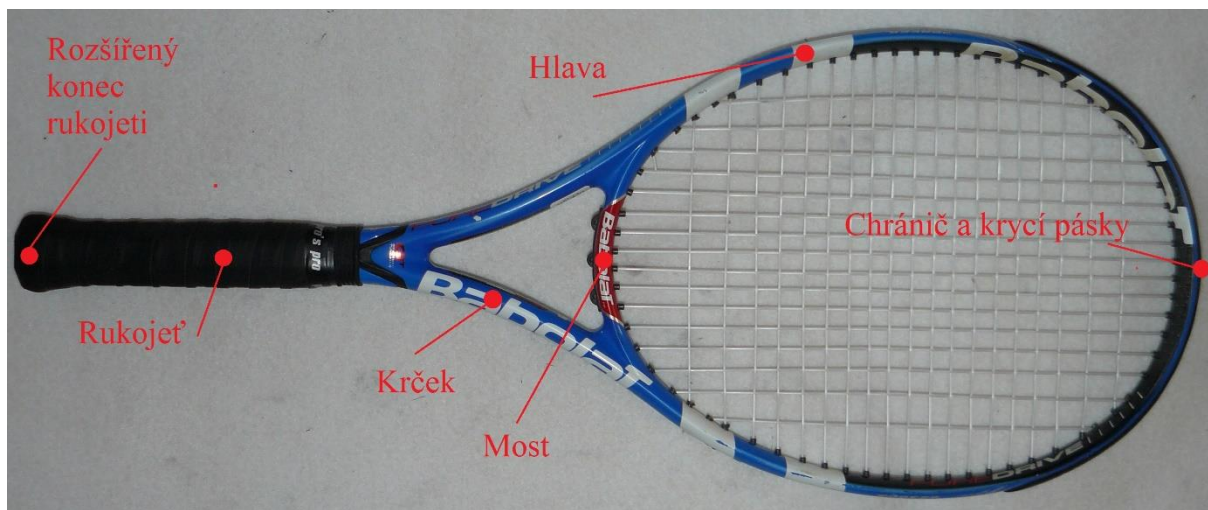
4.4. Wilson [10,11,13]

Wilson Triad Technology – technologie, při které se využívá rámu složeného ze tří částí. První část je hlava rakety, která je navržena pro optimální sílu úderu. Prostřední část zachycuje co nejvíce vibrací. Třetí část je rukojeť, která zajišťuje komfort hráče, lepší držení a cit pro hru. Této technologii je využito při výrobě rakety Wilson Triad Five.

Wilson Braided Graphite + Basalt (omotávaný grafit + čedič) – materiál vyvíjený po mnoho let. Pomáhá zvýšit ohyb rakety. Prodlužuje délku kontaktu míče s raketou, což zlepšuje cit a kontrolu úderu. Využito v raketě Wilson Blade 98.

Wilson Countervail (vyváženost) – tato technologie slouží ke snížení nežádoucích vibrací. Používá se patentované uhlíkové vlákno, které maximalizuje hráčovu energii a tlumí vibrace. Vrstvy uhlíkových vláken jsou rozprostřeny strategicky po kostře rakety. Využito v raketách Wilson Blade 98 a Wilson Burn.

5. Tvar tenisové rakety [1,2,10]



Obr. 6 Popis tvaru tenisové rakety

Rozšířený konec rukojeti je obvykle překryt páskou. Slouží k tomu, aby byla zajištěna opora hrající ruky zespodu. Je zde umístěn plastový uzávěr.

Rukojeť (grip) má tvar osmihranu, bývá omotána kůží nebo syntetickým materiálem, lze přiložit i další vrstvy protiskluzného materiálu, tzv. omotávku. Ta se vyrábí z materiálů, které odvádějí vlhkost a zlepšují cit v ruce při hře a chrání ji proti odření. Má často perforovaný (děrovaný) povrch.

Velikost rukojeti je jeden za základních parametrů při vybírání tenisové rakety. Když vezmeme raketu do ruky, tak bychom ji neměli obejmout celou, ale mělo by tam zůstat místo zhruba na jeden prst. Rukojeti se vyrábí ve více velikostních provedeních – viz. tabulka č. 1. Při výběru je nutno pamatovat, že velikost rukojeti se dá zvětšit (přidáním další omotávky), ovšem nelze ji nijak zmenšit.



Obr. 7 Určení ideální velikosti rukojeti

Tabulka č. 1 - Rozdělení tenisových raket dle velikosti rukojeti [10]

Velikost rukojeti	Obvod sevřené ruky (v palcích)	Vhodný pro
0 (L0)	4 0/8“	Junioři
1 (L1)	4 1/8“	Junioři/ženy s menší dlaní
2 (L2)	4 2/8“	Ženy/muži s menší dlaní
3 (L3)	4 3/8“	Ženy s větší dlaní/muži
4 (L4)	4 4/8“	Muži
5 (L5)	4 5/8“	Muži s větší dlaní

Čísla uvedená v tabulce bývají vyražena na spodní straně rukojeti.

Plastická páska slouží k obepnutí rukojeti a k zakrytí lepicí pásky omotávky.

Krček – „rozvětvená“ část rakety. Je obvykle otevřený a jeho tvar ovlivňuje stupeň prohnutí rámu a velikost oblasti „sweet spot“ (pružné místo, ve kterém mají odehrané míče nejlepší odraz a zrychlení).

Most zakončuje konstrukci hlavy jako spojka mezi rozvětvenou rukojetí. Musí být dostatečně pevný, aby vydržel napětí alespoň šesti základních strun.

Hlava rámu má tvar elipsy, nachází se v ní výplet. Větší hlava znamená větší plochu pro ideální zasažení míče, což je výhoda především pro začínající hráče. Raketa s větší hlavou dokáže i míček razantněji odpálit. Na druhou stranu, raketa s menší hlavou je přesnější, rychlejší a vyžaduje větší hráčské umění. Rakety se dají rozdělit podle velikosti hlavy – viz. tabulka č. 2.

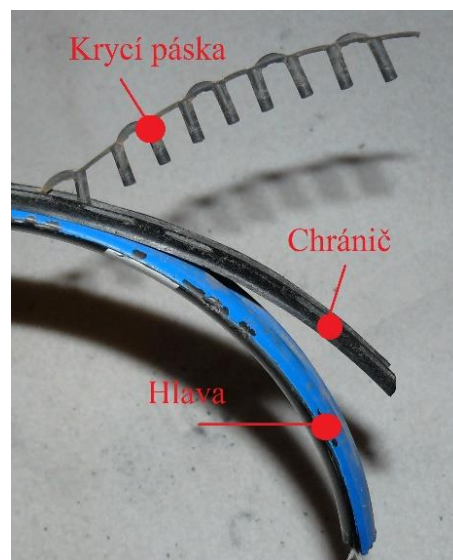
Tabulka č. 2 - Rozdělení raket podle velikosti hlavy [10]

Označení velikosti rakety	Plocha v cm ²
midsize	Menší než 600
midplus	601-689
oversize	690-739
super oversize	Větší než 740

Chráníč chrání korunu hlavy rámu a struny.

Krycí pásy jsou navlečeny zvenku kolem hlavy rakety. Pásy, jejichž otvory se kryjí s otvory pro struny v rámu, chrání struny.

Na raketě je povoleno mít pouze předměty sloužící k ochraně proti opotřebení, ke snížení vibrací a předměty sloužící k úpravě hmotnosti rakety.



Obr. 8 Ochrany vršku hlavy tenisové rakety

6. Vlastnosti tenisové rakety [10,14,]

Hmotnost tenisové rakety se udává v gramech bez výpletu. Hmotnost rakety se řadí mezi nejdůležitější faktory, na kterých závisí výběr tenisové rakety. Rozdělení tenisových raket je uvedeno v tabulce č. 3. Lehká tenisová raketa je lepší pro začátečníky, jelikož je lépe ovladatelná, svižná a přesná. Výhodou těžké tenisové rakety je schopnost udělit míči vysokou rychlost díky hybnosti, kterou nabere při úderu. Těžké tenisové rakety používají závodní a profesionální hráči tenisu.

Tabulka č. 3 - Rozdělení tenisových raket podle hmotnosti [10]

Označení hmotnosti	Hmotnost rakety v gramech
Ultra lehká	Méně než 240g
Lehká	241 – 280g
Středně těžká	281 – 300g
Těžká	301 a více g

Pevnost v ohybu je další velmi důležitou veličinou, která se projevuje při kontaktu tenisové rakety s míčem. Pružné tenisové rakety absorbují více energie při srážce s míčem, což způsobí, že přejde menší energie do míče a ten nedostane takovou rychlost, jakou mu udělí tuhá raketa.

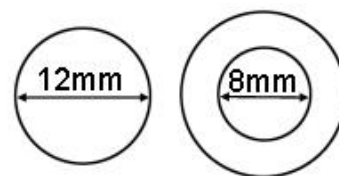
Pevnost v ohybu závisí na Youngově modulu pružnosti v tahu (E) a hustotě materiálu (ρ). Designéři se snaží použít materiály, které mají vysokou tuhost, pevnost a nízkou hustotu. Důvodem je snaha vyvinout lehčí tenisové rakety, při zachování velikosti hlavy. Pro dosažení vysoké pevnosti v ohybu je důležitá vysoká hodnota poměru \sqrt{E}/ρ .

Tabulka č. 4 - Charakteristiky používaných materiálů [14]

Materiál	Youngův modul E (GPa)	Hustota ρ (kg/m ³)	\sqrt{E}/ρ	Pevnost v tahu (MPa)
Uhlíkové vlákno	90	2 000	4.7	500
Ocel	210	7 850	2.9	400
Hliník	71	2 700	3.1	300
Jasanové dřevo	10	500	6.3	50

Z výše uvedené tabulky č. 4 vyplývá, že jasanové dřevo je velmi dobrý materiál na výrobu tenisové rakety pro vysokou pevnost v ohybu za nízké hmotnosti. Nicméně jeho nízká hodnota Youngova modulu E ve srovnání s ostatními materiály znamená, že pro dané napětí dojde k defektu dřevěné tenisové rakety s větší pravděpodobností než u například ocelových raket, pokud by byly uvažovány stejné velikostní parametry. Nízká pevnost v tahu u dřevěné rakety znamená, že je nutno využít menší hlavy rakety, aby raketa snesla dané zatížení. Použití ostatních materiálů umožnilo konstrukce tenisových raket s většími hlavami při zachování stejné tuhosti, přičemž mají menší pravděpodobnost, že dojde k lomu.

Použití kompozitních materiálů k výrobě tenisových raket umožnilo výrobu dutých rámu, což by u dřevěných rámu bylo nesmírně náročné a drahé. Tuhost v ohybu dutých rámu je větší než u rámu plných, což umožňuje redukovat hmotnost při současném zachování tuhosti rámu.



Obr. 9 Tyč s dutinou bude mít oproti plné tyči, která má stejný objem, větší pevnost v ohybu. [14]

Kvadratický moment pro kruhový průřez je $I = \frac{\pi * (D^4 - d^4)}{64}$.

D...vnější průměr

d... vnitřní průměr

Pro plný průřez s vnějším průměrem D=12 mm bude kvadratický moment:

$$I = \frac{\pi * (12^4 - 0^4)}{64} = 1018mm^4$$

Pro dutý průřez s vnitřním průměrem d=8mm a vnějším průměrem 14,4mm (kvůli zachování objemu) bude kvadratický moment:

$$I = \frac{\pi * (14,4^4 - 8^4)}{64} = 1910mm^4$$

Vyšší kvadratický moment znamená i vyšší pevnost v ohybu. Z výpočtu vyplynulo, že dutý průřez bude mít větší pevnost než plný.

Vyvážení tenisové rakety

Vyvážení tenisové rakety definuje vzdálenost těžiště od konce rukojeti. Dle vyvážení jsou tenisové rakety rozděleny do třech skupin – viz. tabulka č. 5. **Vyvážení do hlavy** slouží k zesílení úderu. Oproti tomu **vyvážení do ruky** zlepšuje při úderu cit a umožňuje lepší umístění míče, což preferují především pokročilí hráči.

Tabulka č. 5 - Vyvážení tenisových raket [10]

Označení vyvážení	Vyvážení v mm
Do hlavy	Nad 350
Na střed	340-350
Do ruky	Pod 340

Sweet spot je místo na tenisové raketě, kterým je nejlepší udeřit míč. Na tenisové raketě nalezneme prakticky tři sweet spot-y, tj. centrum nárazu, uzel a silný bod.

Centrum nárazu je místo úderu, kde je síla dotyku s rukou co nejmenší. Pokud míč udeříme ve středu hmotnosti (těžišti), raketa odskočí od míče podle zákona zachování hybnosti. Nicméně pokud udeříme míč na jiném místě, tak tenisová raketa nejen odskočí, ale dojde i k rotaci kolem středu hmotnosti. Člověk držící tenisovou raketu vytáčí své zápěstí působením této rotace. Ideálním centrem nárazu je místo, ve kterém je rotace nulová. Jeho lokace je dána rozložením hmotnosti tenisové rakety.

Uzel je místo, kde míč při úderu způsobí nejmenší možné vibrace. Při kontaktu míče a tenisové rakety se velká část energie přemění v deformaci míče, strun a rámu tenisové rakety. Část této energie je navrácena míči ve formě kinetické energie, další část se stane energií, která způsobuje vibrace strun i rámu.



Obr. 10 Uzel zůstane i při prohnutí tenisové rakety na stejném místě [14]

Základní frekvence, při kterých kmitá tenisová raketa při úderu, je vysoce závislá na tuhosti a hmotnosti rámu. Pro tenisové rakety vyráběné z moderních materiálů se frekvence pohybuje mezi 120 až 200 Hz. U tradičních dřevěných raket se frekvence pohybuje okolo 90 Hz. Obrázek ukazuje vibrace pozorované ve středu a na obou koncích rakety. Zde jsou dva body, ve kterých je vibrace nulová. Tyto body se nazývají uzly. Jeden z uzlů je přímo v hlavě rakety. Čím dále od tohoto bodu udeříme míč, tím větší vibrace vzniknou. Proto je tento bod obecně nazýván sladkým bodem, právě z důvodu nejnižších vibrací.

Většina tenistů nemá ráda vibrace z důvodu ztráty kontroly, namožení ruky a z neuspokojivého pocitu při odehrání míče. Je ovšem důležité, aby nedošlo k úplnému útlumu vibrací, jelikož by hráč neobdržel odezvu o kvalitě jeho úderu.

V tenise se pod pojmem síla rozumí rychlost odehraného míče vzhledem k vynaložené síle hráče při úderu. **Silný bod** je místo, které poskytuje největší sílu při úderu. Tento bod lze najít, při výpočtu součinitele restituace (COR).

$$e = v_2/v_1$$

e... součinitel restituce

v_1 ... rychlost míče před úderem

v_2 ... rychlost míče po úderu

Součinitel restituce nabývá hodnot (0;1). Jedné je roven, pokud jde o dokonale pružnou srážku, což znamená, že míč je odehrán stejnou rychlostí, s jakou narazí do rakety. V našem případě jde o nedokonale pružnou srážku, z čehož plyne, že dojde ke ztrátě energie například vlivem deformace. Silný bod se nalézá na místě, kde je součinitel restituce co největší.

„Sladké body“ jsou ovlivněny tvarem tenisové rakety, použitým materiálem a napětím ve strunách. Při návrhu a výrobě je snaha, aby všechny tři body byly na stejném místě, například ve středu hlavy tenisové rakety. To platí pro velkou většinu hráčů, ale pro profesionální tenisty se navrhuje tenisové rakety, kde je možno mít i více než jeden sweet spot.

7. Výroba tenisových raket

7.1. Výroba dřevěné tenisové rakety [15]

Ze základního dřeva se vyrobí pásy, které se **ohnou** tak, aby zhruba připomínaly tvar rakety, a srovnají se podle velikosti, následně se ponoří do lepidla z obou stran a za působení vyšší teploty se **slepí**. Dále je ze základního dřeva vytvořen klínek, který bude sloužit jako srdce rakety.



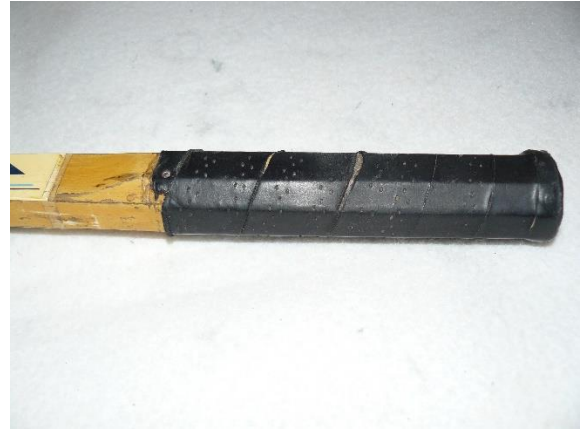
Obr. 11 Klínek je umístěn do místa srdce rakety [15]

Z důvodu větší ohýbatelnosti je materiál **napařen**. Polotovar se následně umístí do ohýbací formy, kde působením vysokého tlaku dojde k zisku požadovaného tvaru tenisové rakety. Pro dosažení konstantní tloušťky je materiál obroušen. Nakonec je konec držadla rakety zaříznut na požadovanou délku.

V dalším kroku jsou vrtačkou **vyvrtány** díry pro výplet a následně se jimi protáhnou struny, které mají abrazivní účinek. Díry nejsou umístěny v jedné rovině, ale jsou umístěny střídavě z důvodu vyšší pevnosti. Poté jsou z vrchní a spodní strany rukojeti umístěny další vrstvy materiálu, kterými je definován tvar a velikost rukojeti. Následně je celý povrch ještě jednou **obroušen**.



Obr. 12 Díry pro výplet jsou umístěny střídavě

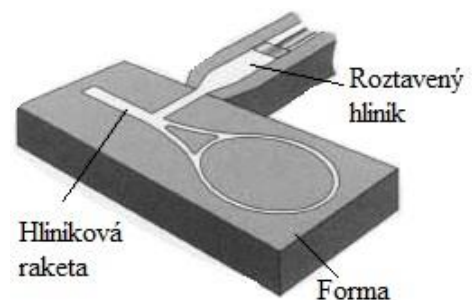


Obr. 13 Rukojeť je rozšířena dalšími vrstvami materiálu

Následně je tenisová raketa vyvážena. Vyvažuje se vrtáním nebo broušením. Poté je aplikován ochranný nátěr. Dále je držadlo omotáno kůží a celá raketa může být polepena značkou výrobce a různými dekorativními vzory. Nakonec je raketa ještě jednou vyvážena.

7.2. Výroba hliníkové tenisové rakety [4]

Formování rámu rakety – existují dva typy, jak rám hliníkové tenisové rakety vytvořit. Prvním způsobem je hliník taven a následně je vehnán do formy, která má tvar tenisové rakety. Druhým způsobem je hliník taven a protlačen do trubky a poté vtlačen do formy.



Obr. 14 Odliti hliníkové rakety [4]

Vrtání a leštění – hrubá tenisová raketa je upevněna a jsou do ní vyvrtány otvory do mostu rakety, kde drží spodní část výpletu, a do hlavy rakety, kde je zbylá část výpletu. Je zde použito většího množství vrtáků, které jsou umístěny na různých pozicích pro každou díru zvlášť. Raketa je umístěna v horizontální poloze v centru vrtačky a všechny díry jsou vrtány současně. Tenisová raketa je poté umístěna do brusky, která slouží ke sražení ostrých hran po vrtání.

Vytržování – v tomto procesu se tenisová raketa zahřeje a prudce ochladí. Rakety jsou umístěny na dopravníku, na kterém se pohybují do pece, kde se zahřejí, až získají, vlivem oxidace, bílou barvu (660°C). Následně jsou ponořeny do vody. Poté jsou rakety anodizovány, což je proces, při kterém se vytvoří ochranná vrstva oxidu hliníku na povrchu. Cílem je zvýšení ořezuvzdornosti povrchové vrstvy a dodá povrchu lesklost.

Vyplétání – do děr po vrtání se umístí pryžové výstelky. Most rakety je uzpůsoben, aby přesně seděl do základu hlavy rakety. Nyní je možné tenisovou raketu vyplést. Tenisové rakety jsou vyplétány jednotlivě člověkem sedícím u vyplétacího stroje.

Dokončování – dojde k manuálnímu odstranění konce držadla a vložení spodního uzávěru. Poté pracovník obalí držadlo omotávkou. Na konec omotávky, pod krček, je umístěna páska z vinylu, která zabraňuje rozmotání omotávky. Na výplet je také možné natisknout logo a rám může být různě polepen. Kontrolor prověří, zda nejsou přítomny různé kazy a zda souhlasí velikostní a hmotnostní specifikace.

7.3. Výroba kompozitních tenisových raket [4,16]

Formování rámu – k výrobě se používají vrstvy materiálu, nejčastěji uhlík a fiberglass, ale někdy i kevlar a bor. Tyto vrstvy se sestaví do roviny, přičemž dojde k laminovanému uspořádání. Poté se materiál nastříhá a sroluje se do pružné trubky a následně se namotává okolo formy ve tvaru budoucí tenisové rakety. Obvykle je zde použito okolo dvanácti vrstev laminovaného materiálu, v místech, kde je tenisová raketa nejvíce namáhána, jsou přidány další vrstvy, abychom předešli lomu při zátěži. Zvenku se upevní další forma, která definuje tvar a zbytek rozměrů.

Vytvrzení materiálu - materiál připevněný k formě je velmi měkký. K jeho vytvrzení dojde v peci, kde se zahřeje za konstantního tlaku. Vzduch je hnán do středu rámu, což způsobí dutou konstrukci. Každý rám je v peci okolo dvaceti minut. Výsledný materiál je velmi pevný, ale i hrubý. Poté je rám broušen.

Plnění pěnou – po broušení je ze spodní rukojeti vehnána skrz celý rám pěna, která zvyšuje pevnost a odolnost tenisové rakety. Speciální pěna obsahuje vlákna a matrici. Pěna se dostává mezi vlákna a zacelí různé nedokonalosti.



Obr. 15 Plnění rámu pěnou [16]

Vrtání a leštění – z pece je raketa přesunuta ke kontrole, kde se vyřadí rámy, které jsou nějakým způsobem poškozené. Spodek rukojeti se uřízne a poté je raketa dopravena k vrtačce, kde se vyrobí díry pro struny. Po vrtání dojde k leštění, následně k sušení a poté k broušení.

Vyplétání a dokončování – zde je upevněn spodní uzávěr, nanесena barva a rám je polepen. Dále je upevněna omotávka a raketa je vypletena.

8. Praktická část

V rámci praktické části byly zjišťovány rozdíly mezi náhodně vybranými tenisovými raketami **Babolat Pure Drive GT Cortex** (dále označené jako vzorek 1) a **Prince O3 Hybrid Pink MP** (dále označené jako vzorek 2). Zjišťované rozdíly se týkaly použitých materiálů, samotné konstrukce rámu tenisové rakety a lomů, které vznikly v rámu nárazem o zem.

8.1. Vzorek 1:

Babolat Pure Drive GT Cortex

Materiál: grafit, tungsten

Rok výroby: 2010

Hmotnost: 300 g

Velikost hlavy: 645 cm²

Délka: 700 mm

Vyvážení: 320 mm

Tvrdość: 67 ra

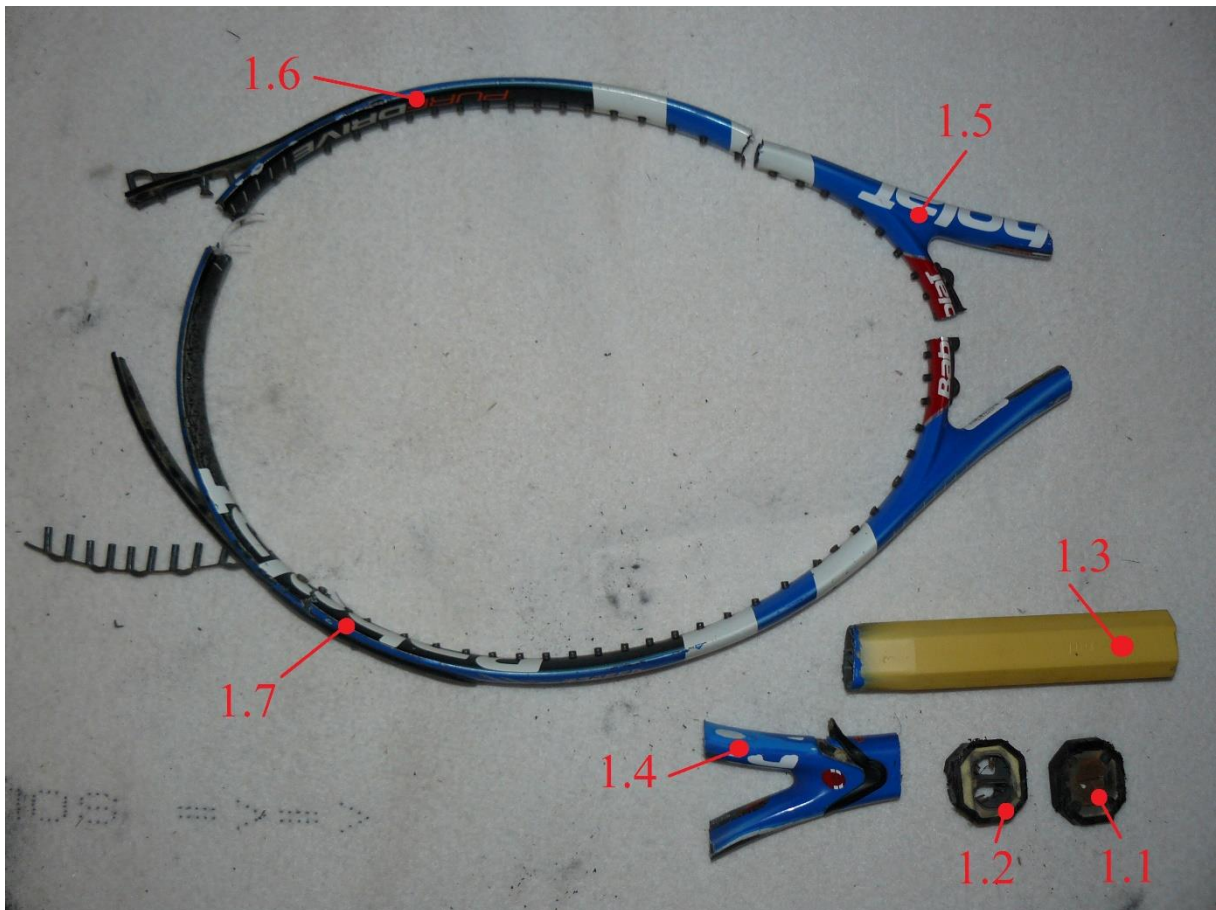
Vzor výpletu: 16/19 (tzn. 16 děr svislých a 19 vodorovných strun)



Obr. 16 Babolat Pure Drive GT Cortex

8.1.1. Příprava a popis vzorků

Nejprve byl zahradnickými nůžkami rozstřížen výplet tenisových raket. Následovalo očištění od zbytků antuky a odstranění omotávek. Poté byly oba vzorky umístěny do svěráku, kde byly ruční pilkou na železo nařezány na jednotlivé části.



Obr. 17 Vzorek 1 po provedení řezů

Vzorek 1.1

Jedná se o spodek plastového uzávěru na konci rukojeti tenisové rakety. Ze spodní strany uzávěru je umístěno logo výrobce a velikost držadla. Na horní straně jsou vidět 4 výstupky, které byly použity k přesnému ustavení držadla tenisové rakety. Na konci držadla byla napnuta blána, jejímž úkolem bylo zachytávat nečistoty. V tomto případě byla blána porušena. Na obrázku 18 bylo z tohoto důvodu nalezeno množství antuky na bláně.



Obr. 18 Vzorek 1.1

Vzorek 1.2

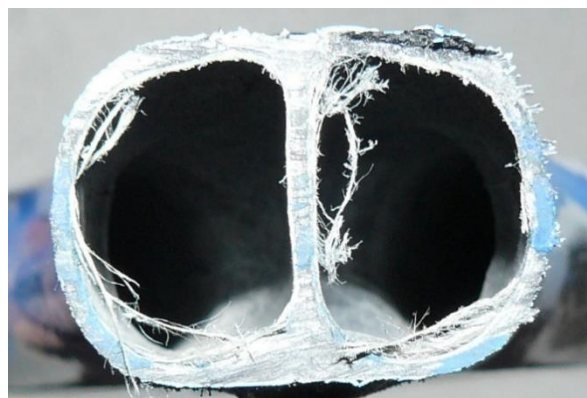
Koncová část držadla tenisové rakety je obepnuta plastovým uzávěrem. Obě součásti jsou spojeny kovovými svorkami. Vzorčky jsou směrem od konce rukojeti rakety zúženy. Delší konec držadla je uzpůsoben k zabránění sklouznutí ruky z držadla. Přítomnost dvou děr uprostřed držadla je dána způsobem výroby. Zároveň je díky nim snížena hmotnost. Vnější strana děr je vyrobena z grafitu, který je obklopen silnou vrstvou pryskyřice.



Obr. 19 Vzorek 1.2

Vzorek 1.3

Grafitový vnitřek je obklopen vrstvou pryskyřice. Držadlo je vytvarováno do tvaru pravidelného osmihranu. Jeho velikost je dána množstvím pryskyřice. Pod krčkem je držadlo zúženo a jeho tvar je změněn na elipsu. Vrstvy grafitu zůstávají u všech velikostí držadla nezměněny. Z boku je vyražen výrobní kód tenisové rakety.



Obr. 20 Vzorek 1.3 se pod krčkem skládá pouze z grafitu, proto má tvar elipsy



Obr. 21 Vzorek 1.3 - Velikost osmihranu je dána množstvím pryskyřice.

Vzorek 1.4

Pod krčkem vzorku 1 je umístěna speciální drážka, do které je nalepena guma. Tato inovace je patentována pod názvem Cortex System a slouží ke snížení vibrací, které namáhají ruku hráče. Samotný krček má elipsovitý průřez. Z vnitřní strany krčku jsou natištěny charakteristické vlastnosti tenisové rakety.



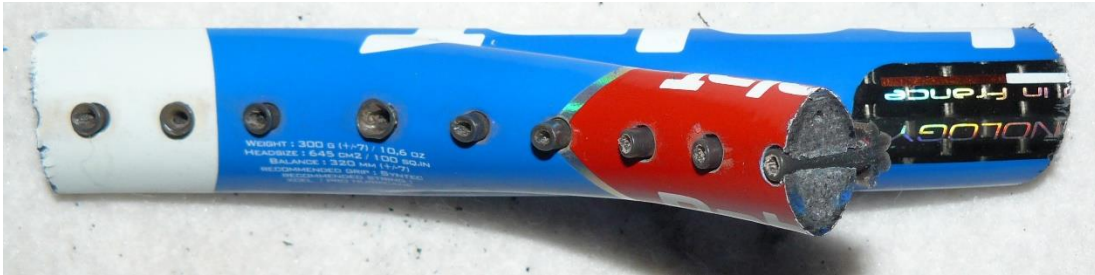
Obr. 22 Vzorek 1.4 - Vnitřní strana rozvětvená v krčku rakety



Obr. 23 Vzorek 1.4 - Babolat Cotex System

Vzorek 1.5

Most vzorku 1 je vyplněn pryskyřicí, do které jsou zality i výstelky pro výplet. Tato technologie byla uzpůsobena ke zvýšení pevnosti v ohybu. Díky tomu mohl být použit více zploštělý profil. Výstelky pro výplet jsou umístěny na plastovém hřebenu, který plní funkci krycí pásky.



Obr. 24 Vzorek 1.5 - Most má zploštělý tvar a je vyplněn pryskyřicí.

Vzorek 1.6

Profil hlavy vzorku 1 je uzpůsoben, aby měl co nejvyšší pevnost v ohybu za současné úspory materiálu. Po vnějším obvodu je vzorek 1.6 krytý plastovým chráničem a krycí páskou s výstelkami pro výplet.



Obr. 25 Vzorek 1.6 - Profil hlavy tenisové rakety

Vzorek 1.7

Tento vzorek je totožný se vzorky 1.5 a 1.6. Pouze je zrcadlově otočen.

8.1.2. Lomy vzorku 1

Vzorek 1 obsahuje dva lomy v horní části hlavy tenisové rakety. Příčinou jejich vzniku je úder hlavy tenisové rakety o zem. Na obrázku 27 jsou patrna vlákna, vycházející z jedné vrstvy materiálu. V obou místech je hlava držena pohromadě chráničem a krycí páskou. Po jejich přerušení dojde k odtržení jednotlivých částí.

Lomy jsou křehké. Nachází se zde velké množství lomových ploch, což je způsobeno vrstvením pruhů materiálu na sebe. Právě tyto vrstvy lze v lomu rozeznat, neboť se každá vrstva láme jinak.



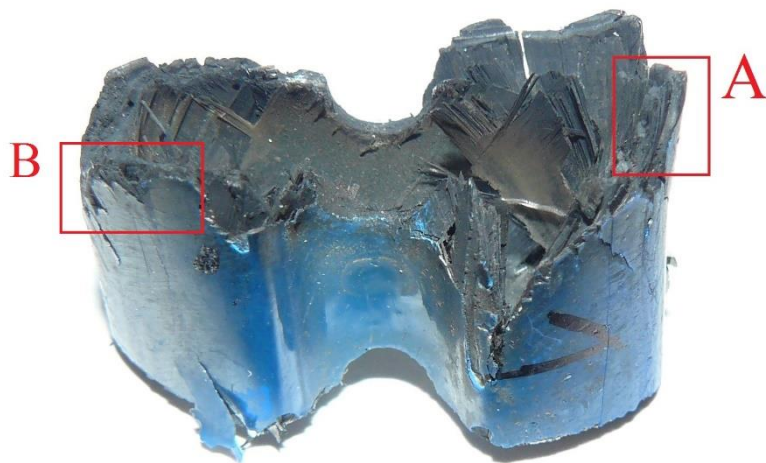
Obr. 26 Vzorek 1 je zlomen v místě 1 a v místě 2 křehkým lomem



Obr. 27 V místě lomu 1 jsou vlákna vytržena.

Ze vzorku 1 byl pilkou na železo vyříznut menší vzorek, na kterém byly vidět lomy, a který byl dále pozorován v elektronovém mikroskopu Philips XL30.

Ze vzorku 1 byl v místě 2 vyříznut vzorek 1.8 – viz. Obr. 26.

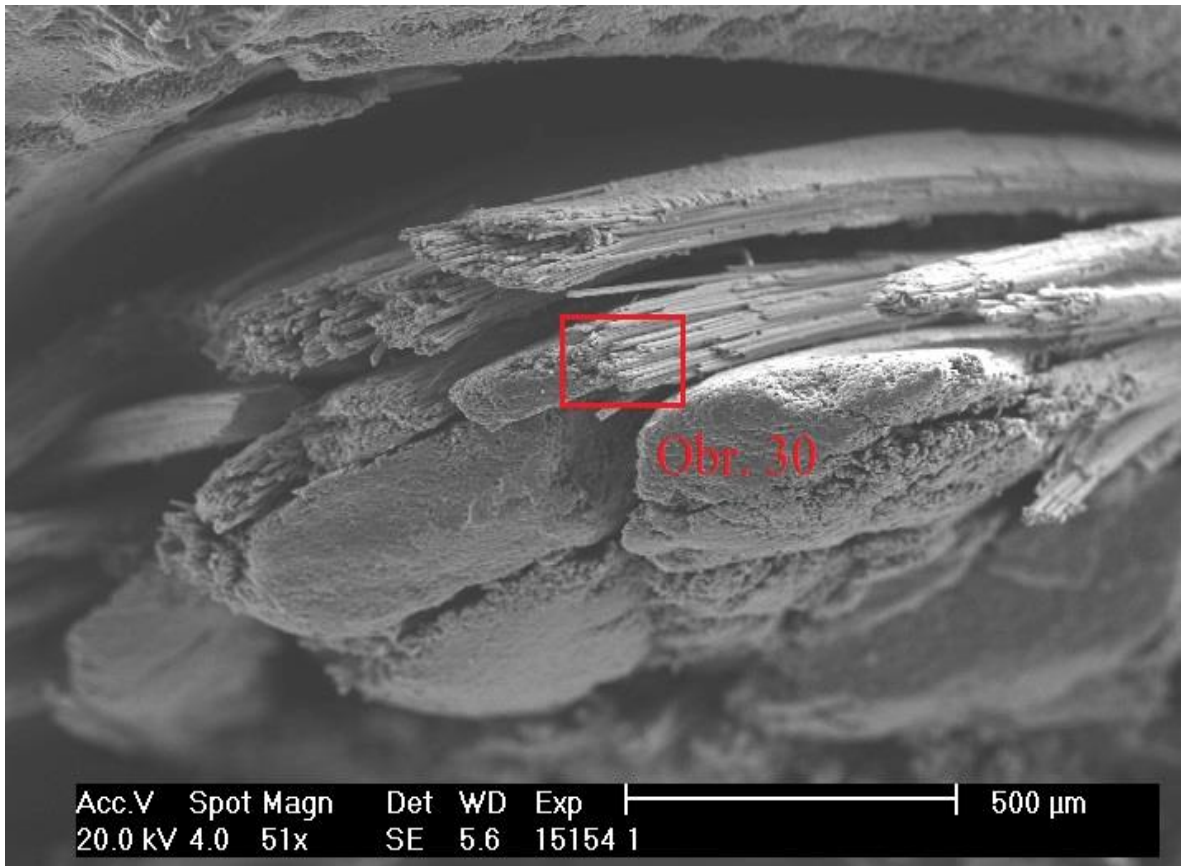


Obr. 28 Vzorek 1.8 - Místa pozorování pod mikroskopem

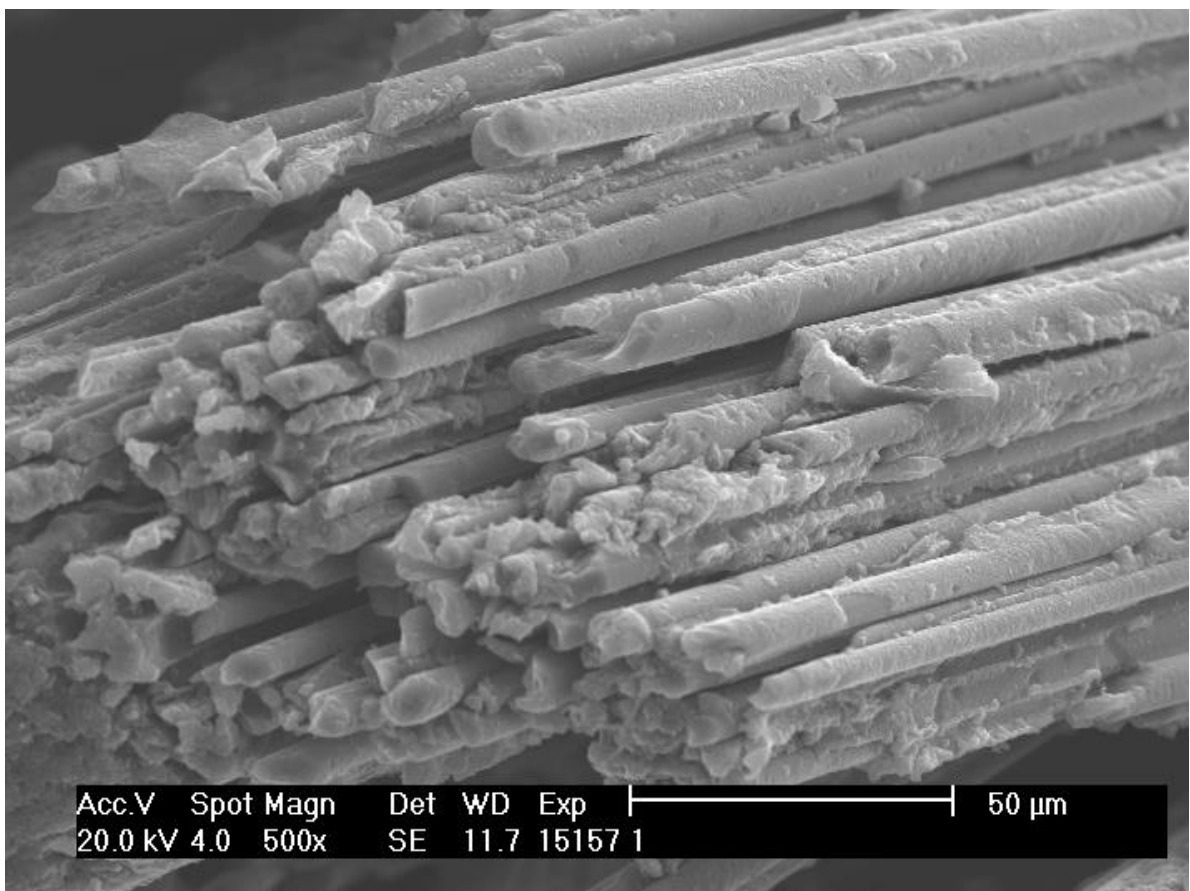
Před umístěním do mikroskopu byl vzorek očištěn lihem a napařen uhlíkem. V mikroskopu bylo vzorek nutno vypoďložit, aby byl stejně vysoko jako druhý pozorovaný vzorek, a následně zavakuovat.

Na obrázku 29 je vidět, že se rám tenisové rakety skládá z několika vrstev. Lze si všimnou i toho, že některá vlákna jsou zabalená, zatímco jiná ne, což může být způsobeno speciální pěnou, která se přidává při výrobě. Tato pěna obsahuje mimo jiné i pryskyřici, která mohla obalit konce vláken. Ve spodní straně obrázku se nalézá studený spoj způsobený chladnutím pěny.

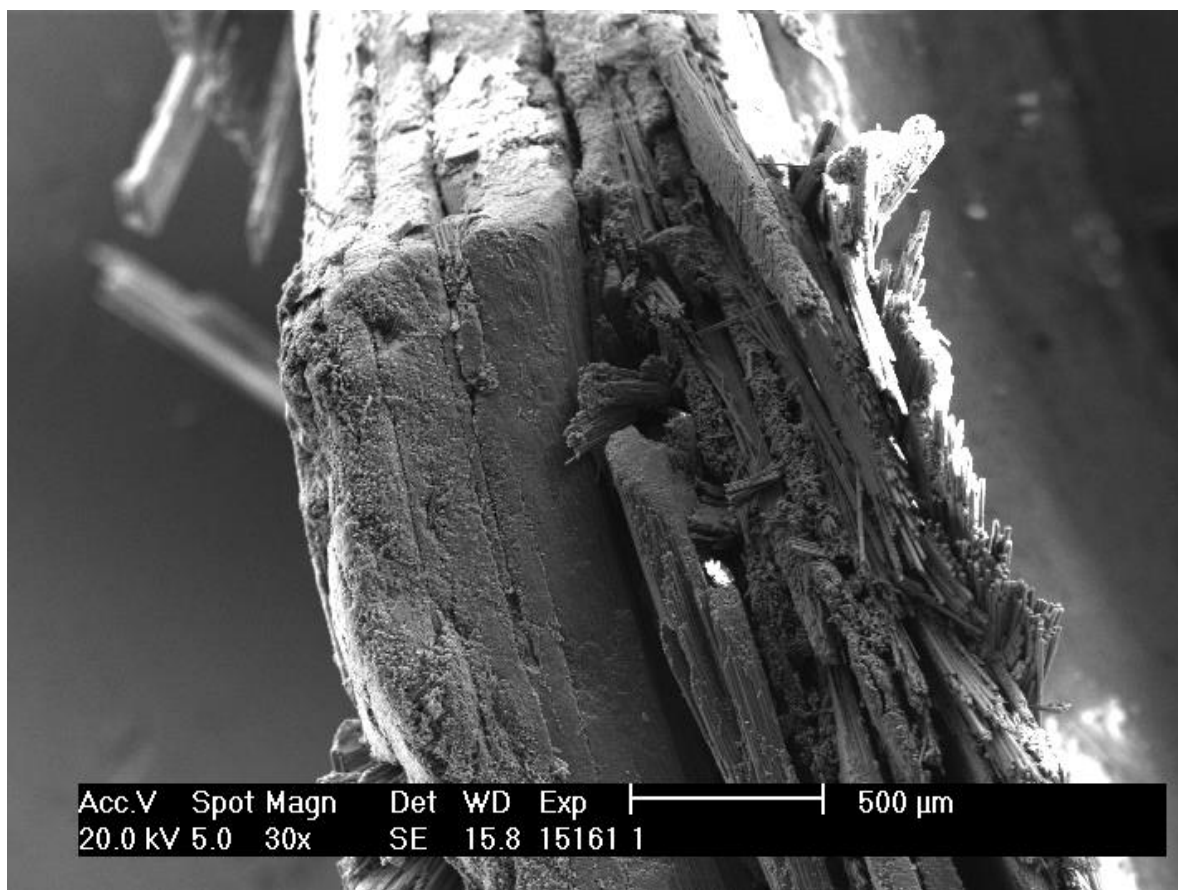
V detailu (obr. 30) jsou některá vlákna rozlomená, zatímco jiná mají konec obalený. Z obrázku 31 lze též vidět, že stěna je z několika vrstev. Právě vrstvení materiálu způsobí různé natočení jednotlivých vláken. Je zde snaha o kolmé vrstvení vláken materiálu.



Obr. 29 Zobrazení lomu v místě A vzorku 1.8



Obr. 30 Detail obrázku 29



Obr. 31 Pozorování v místě B vzorku 1.8

8.2. Vzorek 2: Prince O3 Hybrid Pink MP (Midplus)

Rok výroby: 2009

Materiál: titan, tungsten, grafit

Hmotnost: 260 g

Velikost hlavy: 677 cm²

Délka: 686 mm

Vyvážení: 330 mm

Tvrдост: 65 ra

Vzor výpletu: 16/19



Obr. 32 Prince O3 Hybrid Pink MP

8.2.1. Příprava a popis vzorků

Vzorek 2 byl nadělen a očíslován **stejným způsobem** jako vzorek 1.

Vzorek 2.1

Plastový uzávěr je navlečen na konci rukojeti držadla tenisové rakety. Konec držadla vzorku 2 je vyroben z grafitu. Ze spodní strany je umístěno logo výrobce a označení velikosti držadla. Grafit ze spodku držadla je vlisován do plastového uzávěru.



Obr. 33 Vzorek 2.1 - Vrstva grafitu je napojena na uzávěr

Vzorek 2.2

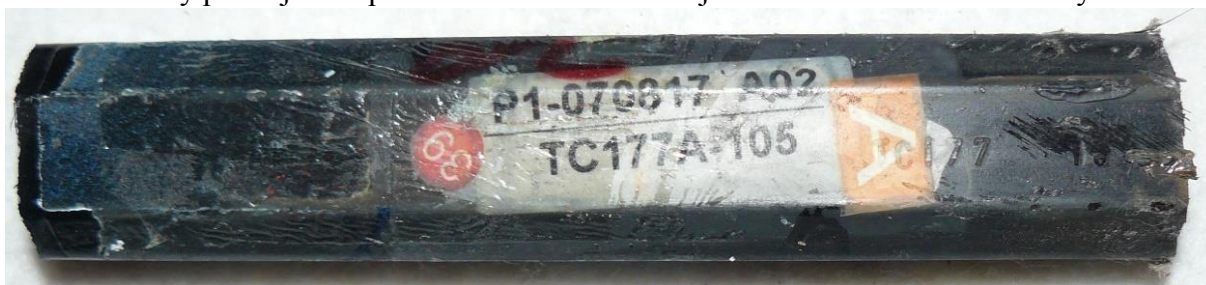
Konec rukojeti je obepnut plastovým uzávěrem. Obě součásti jsou spojeny kovovými svorkami. Vzorek je zúžen směrem od spodku rakety, aby při hře nedošlo vlivem potu ke sklouznutí ruky z držadla. Zúžení je dosaženo zmenšováním plastového uzávěru. Grafitový vnitřek je také zmenšen, ale mezi něj a uzávěr je po dvou stranách umístěna slitina hliníku, která dodává spodku rukojeti větší pevnost.



Obr. 34 Vzorek 2.2 - Dvě strany vzorku jsou rozšířeny vrstvou slitiny hliníku.

Vzorek 2.3

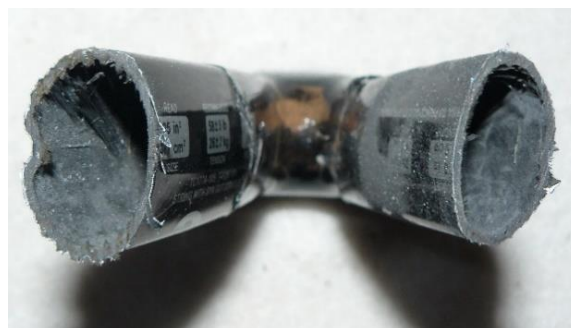
Osmihranná rukojeť vzorku 2 je z vnější strany obklopena vrstvou grafitu. Rukojeť je po dvou stranách vyztužena o slitinu hliníku, ale pouze asi do třetiny délky držadla. Důvodem je, že tenisová raketa se drží u spodu rukojeti, proto tam působí větší síla a je tudíž potřeba zvýšit pevnost v ohybu. Vnější profil osmihranu je po celé délce stejný, až na konci přejde do krčku. Celý profil je oblepen fólií. Na boční straně je umístěn kód tenisové rakety.



Obr. 35 Vzorek 2.3 - Rukojeť z grafitu je obalena folií. Pod ní je nalepený kód tenisové rakety.

Vzorek 2.4

Krček vzorku 2 má zploštělý průřez. Jsou zde dva lomy. Stěny jsou vyrobeny z grafitu. Na vnitřní straně jsou nalepeny informace o vlastnostech rámu tenisové rakety.



Obr. 36 Vzorek 2.4 - Průřez krčkem vzorku.

Vzorek 2.5

Most vzorku 2 neobsahuje žádné výstelky. Výplet je zde veden oky. Tato technologie je nazvána Prince O3 Technology. Byla navržena pro zvýšení razance úderu a zvětšení sweet spotu. Průřez mostu je vyroben z grafitu, přičemž obě strany oka jsou zcela vyplněny.



Obr. 37. Vzorek 2.5

Vzorek 2.6

Hlava vzorku 2 je po vnějších stranách chráněna krycí páskou, ke které jsou připojeny výstelky pro výplet, a chráničem. Na horní straně hlavy již nejsou umístěny krycí pásky, ale pouze chránič, protože v těchto místech byla použita Prince O3 Technology (viz. výše). Místo výstelky pro výplet jsou zde použita oka, kolem kterých je výplet veden. Celá hlava tenisové rakety je vyrobená z grafitu.



Obr. 38 Vzorek 2.6 - Řez okem v horní části hlavy vzorku 2

Vzorek 2.7

Tento vzorek je totožný se vzorky 2.5 a 2.6. Pouze je zrcadlově otočen.

8.2.2. Lomy vzorku 2

Vzorek 2 obsahuje 3 lomy, které vznikly nárazem o zem. Lom označený 1 se nachází na vršku hlavy tenisové rakety. Vznikl kolem koncentrátoru napětí, kterým je část, vypouklá ven z tenisové rakety. Lomy 2 a 3 jsou umístěny na krčku tenisové rakety.

Lomy jsou křehké a lze na nich pozorovat jednotlivé vrstvy, ze kterých se tenisová raketa skládá.



Obr. 39 Lomy vzorku 2



Obr. 40 Detail lomu 1 vzorku 2



Obr. 41 Detail krčku vzorku 2 s lomy 2 a 3

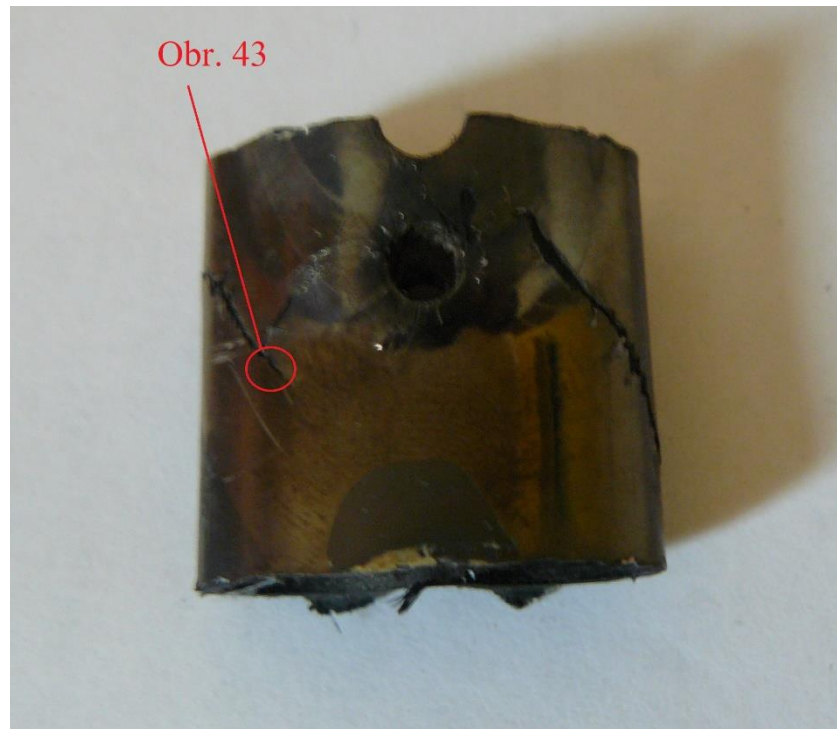
Ze vzorku 2 byl pilkou na železo v místě lomu označeném číslem 1 vyříznut vzorek 2.8, v místě označeném číslem 2 byl vyříznut vzorek 2.9 a v místě označeném číslem 3 byl vyříznut vzorek 2.10.

Před umístěním do mikroskopu byly vzorky očištěny lihem a napařeny uhlíkem. V mikroskopu bylo některé vzorky nutno vypoďložit, aby byly stejně vysoko, a následně zavakuovat.

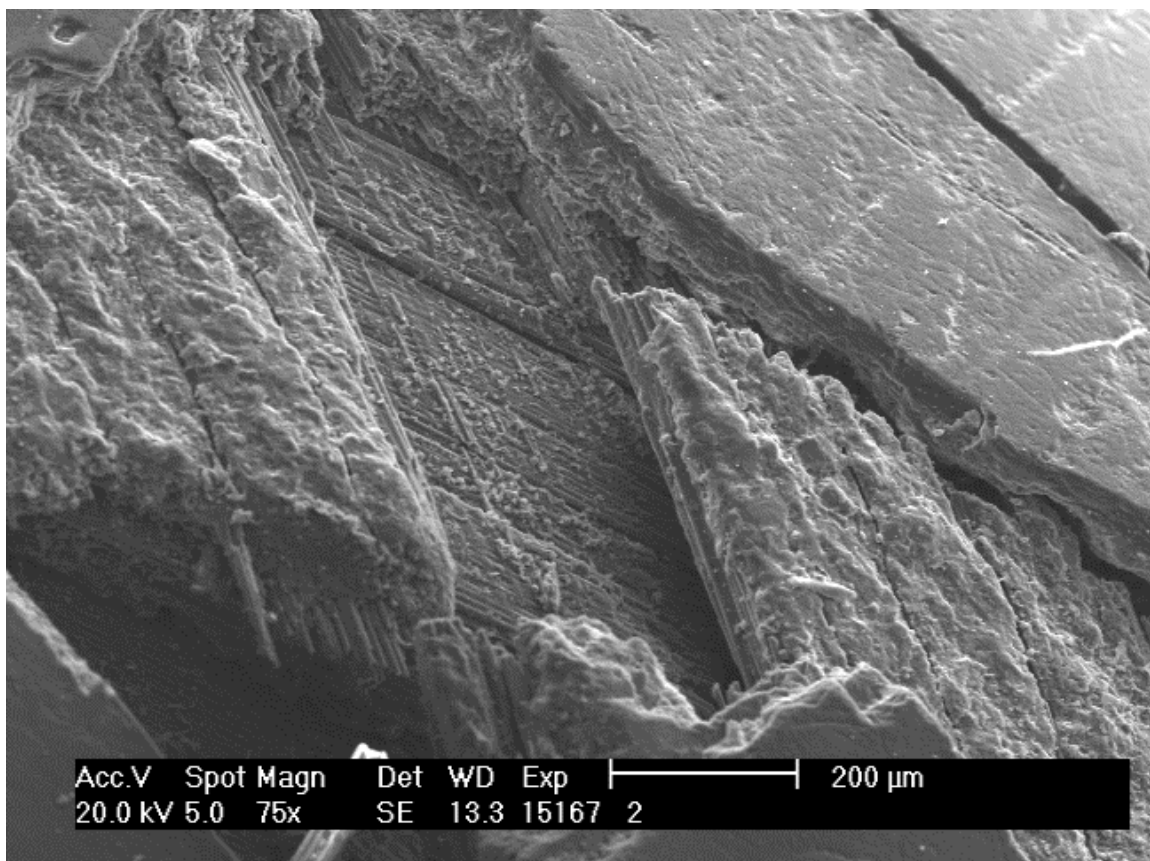
K pozorování byl použit rastrovací elektronový mikroskop Philips XL30.

Vzorek 2.8

Tento vzorek nebyl dolomený, proto lze vidět pouze boční stěnu. Svazky vláken jsou vytrženy ze základního materiálu (Obr. 43). Jednotlivé svazky vláken jsou orientovány téměř kolmo na sebe.



Obr. 42 Vzorek 2.8

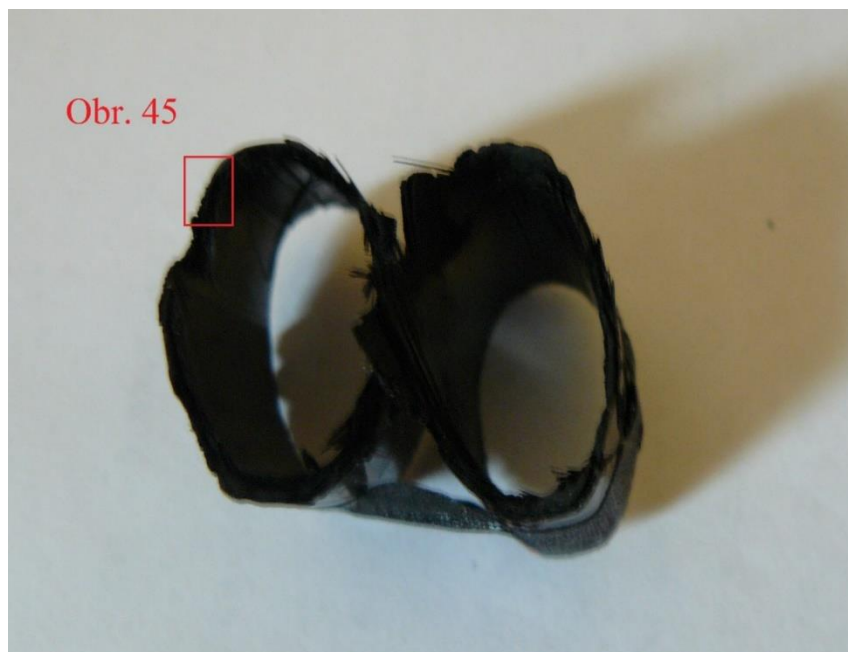


Obr. 43 Detail struktury materiálu v místě lomu 1

Vzorek 2.9

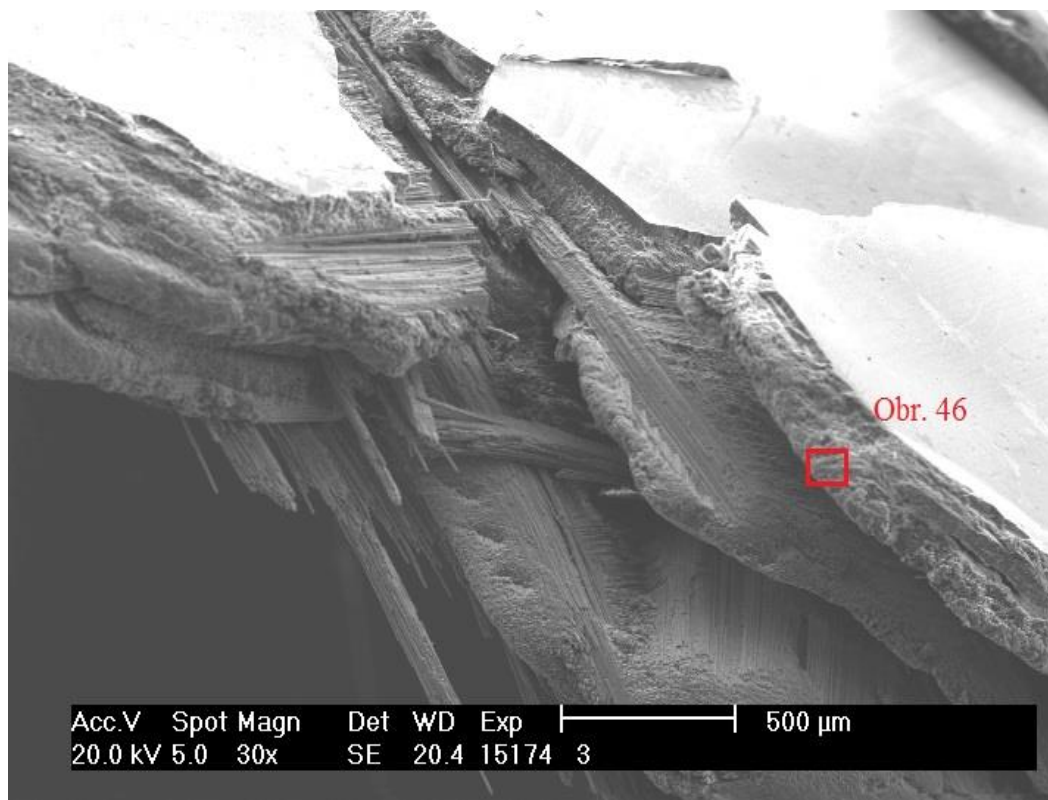
Svazky vláken nejsou rovnoběžně rozmístěny. Některá vlákna jsou zabalená do pryskyřice, zatímco jiná jsou holá. Je zde snaha dávat kolmo natočená vlákna v různých vrstvách po sobě (Obr. 45).

Mezi vlákny je pojivo v podobě pryskyřice. Některá vlákna jsou přelomena, zatímco jiná jsou vytržena (Obr. 46).

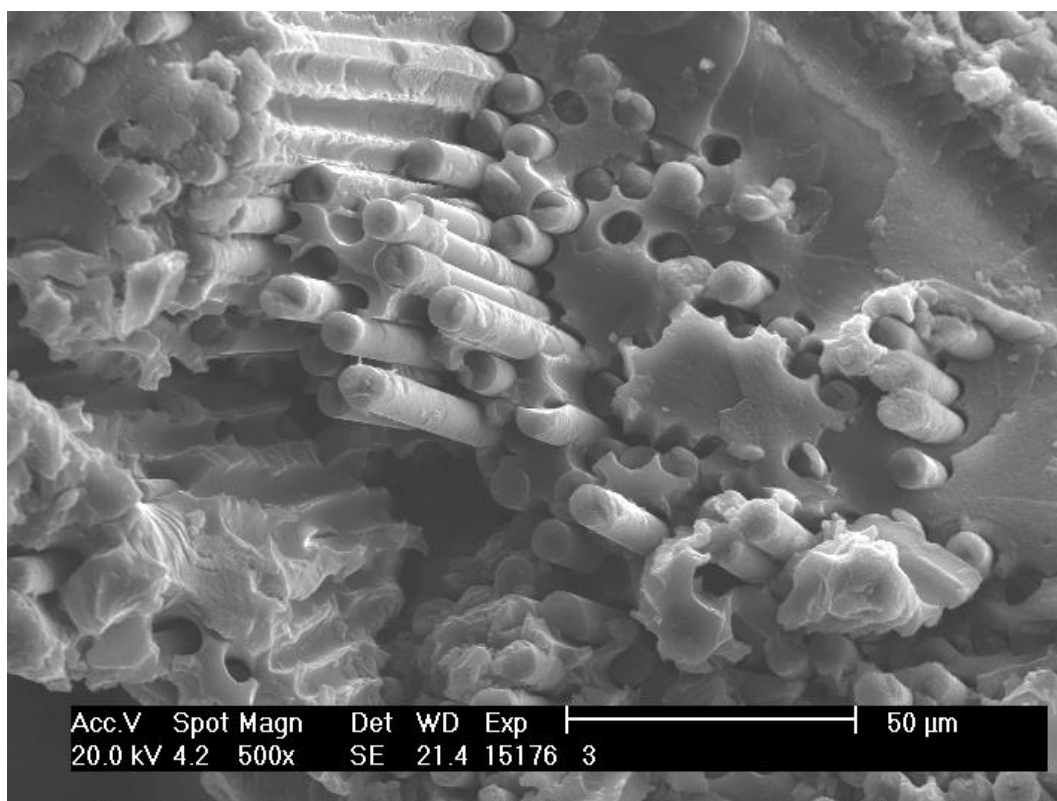


Obr. 45

Obr. 44 Vzorek 2.9



Obr. 45 Detail lomu 2



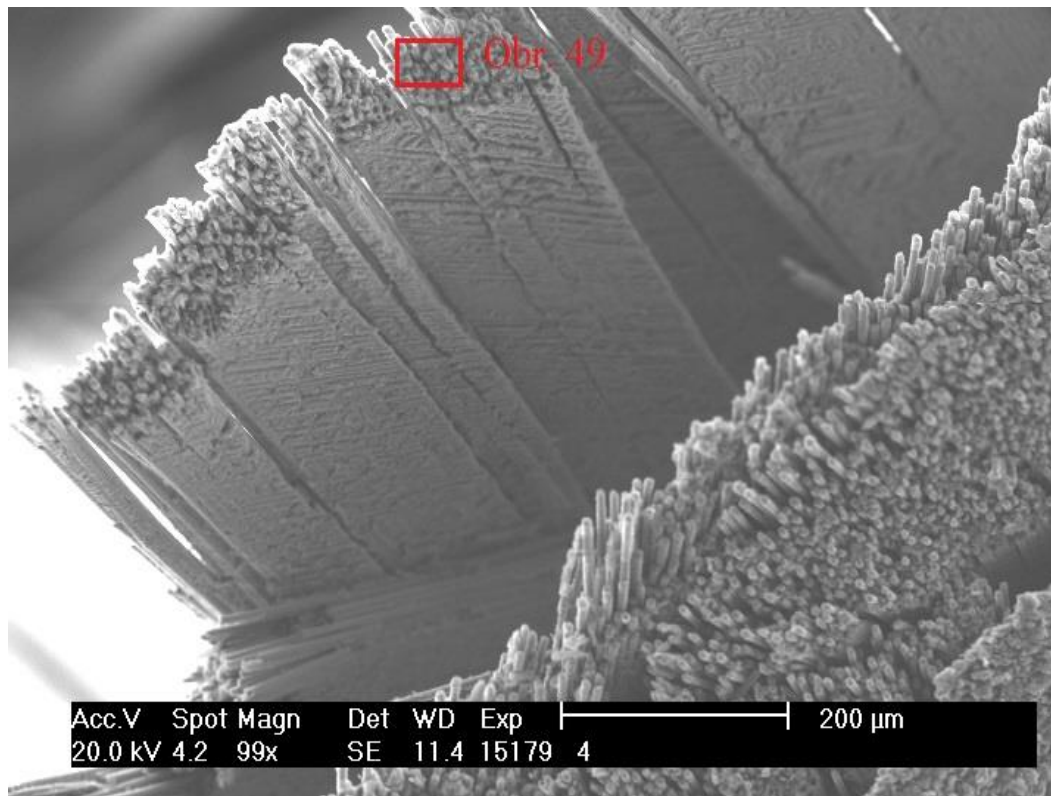
Obr. 46 Vlákná grafitu v pojivu z pryskyřice

Vzorek 2.10

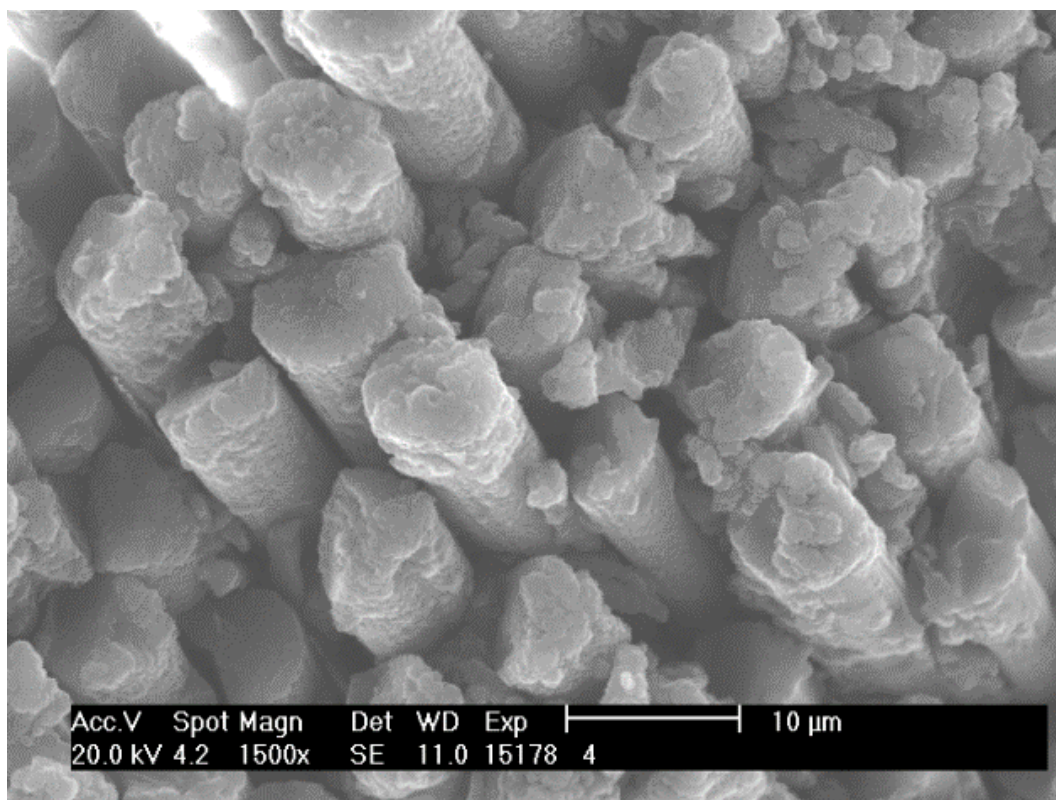
Svazky vláken uhlíku nejsou orientovány rovnoběžně. V horních svazcích jsou otištěny vlákna, která jsou pod nimi (Obr. 48). Tyto svazky se odchlípily vlivem porušení celistvosti materiálu. Hlavy všech vláken vnější vrstvy jsou obalena pryskyřicí, nikde nenajdeme čistou lomovou plochu (Obr. 49).



Obr. 47 Vzorek 2.10



Obr. 48 Vnější vrstva materiálu lomu 3



Obr. 49 Detail koncových ploch vláken grafitu

8.3. Porovnání obou vzorků tenisových raket

Vzorky 1.1 a 2.1

Jedná se o vnitřní stranu plastových uzávěrů tenisových raket. Oba vzorky jsou téměř totožné. Ve vnitřní straně vzorku 1.1 (Obr. 18) je umístěna tenká blána. Vzorek 2.1 je uprostřed rozdělen vrstvou grafitu, která pokračuje dále skrz rukojeť až ke krčku tenisové rakety (Obr. 33). Z druhé strany vzorků jsou umístěna loga výrobců.

Vzorky 1.2 a 2.2

Plastový uzávěr obepíná koncovou část rukojeti rakety. Obě součásti jsou spojeny kovovými svorkami. Vzorky se směrem od konce rukojeti rakety zužují. Rukojeť má v průřezu dvě díry, což je dáno způsobem výroby. Téměř dutý průřez také snižuje hmotnost rukojeti. Pevnost je zvýšena přepážkou mezi nimi, která je dána způsobem výroby. Vzorek 1.2 má robustnější konstrukci než vzorek 2.2. Rukojeť vzorku 1.2 je rozšířena větší vrstvou pryskyřice (Obr. 19). Vzorek 2.2 je rozšířen slitinou hliníku, která je umístěna po dvou stranách. Tato rozšíření slouží k lepšímu úchopu a držení rakety za současného zvýšení pevnosti rukojeti (Obr. 34).

Vzorky 1.3 a 2.3

Rukojeť vzorku 1.3 je vytvořena z grafitu překrytého vrstvou pryskyřice, čímž je zvýšena celková pevnost v ohybu a velikost osmistěnu. Vzorek 1.3 je na konci rukojeti zúžen a v řezu je vidět změna vnějšího tvaru (Obr. 20).

Vzorek 2.3 je od spodního konce až asi do poloviny délky rukojeti vyztužen slitinou hliníku, neboť je zde potřeba dosáhnout větší pevnosti v ohybu, aby se rukojeť při úderu neohnula. Rukojeť vzorku 2.3 má tvar osmistěnu až do místa, kde tenisová raketa přechází do krčku. Oba vzorky nesou své výrobní kódy na boční straně (Obr. 21; Obr. 35).

Vzorky 1.4 a 2.4

Vzorek 1.4 má pod krčkem umístěnou drážku, do které se lepí guma. Tato inovace je patentována pod názvem Cortex System a slouží ke snížení vibrací, které namáhají ruku hráče (Obr. 23). Vzorek 2.4 je v průřezu oproti vzorku 1.4 výrazněji zploštělý (Obr. 22; Obr. 36). Krčky obou vzorků jsou z obou stran polepeny informacemi o charakteristických vlastnostech tenisové rakety.

Vzorky 1.5 a 2.5

Most vzorku 1.5 je vyplněn pryskyřicí, do které jsou zalaty i výstelky pro výplet (Obr. 24). Vnitřek vzorku 1.5 je vyplněn pryskyřicí. Most vzorku 2.5 neobsahuje žádné výstelky. Výplet je zde veden oky. Tato technologie se nazývá Prince O3 Technology. Průřez mostu je vyroben z grafitu, přičemž obě strany oka jsou zcela vyplněny materiálem (Obr. 37).

Vzorky 1.6 a 2.6

Hlava vzorku 1.6 je více zploštělá. Horní strana hlavy je kryta pryžovým chráničem. Krycí páska, také z pryže, jde po obvodu rakety a obsahuje výstelky pro výplet (Obr. 25).

Vzorek 2.6 se liší od vzorku 1.6 tím, že v horní části hlavy má místo výsterek pro výplet díry, kolem kterých se výplet utahuje (Obr. 38). Tato technologie se nazývá Prince O3 technology a umožňuje větší razanci úderu a snazší trefování sweet spotů díky jejich zvětšení. Pryžová páska, sloužící ke krytí vršku rakety, nese výstelky, které má raketa po obou stranách hlavy.

Mikrostruktura

Kladení vláken u vzorku 2 je lepší, než u vzorku 1. Vlákná jednotlivých vrstev jsou na sebe kladena téměř kolmo (Obr. 43; Obr. 45). Množství pryskyřice je naopak větší u vzorku 1 (Obr. 29).

Na pořízených fotografiích je vidět, že

- obě tenisové rakety jsou porušeny křehkým lomem
- uhlíková vlákna v tenisových raketách bývají překryta vrstvami pryskyřice, která se do struktury materiálu dostane při výrobě raket

- prosycení vláken není u srovnávaných tenisových raket stejné; u vzorku 2 je dokonalejší než u vzorku 1
- kladení vláken je u vzorku 2 také lepší než u vzorku 1

Provedeným porovnáním vyplynulo, že vzorek 2 (Prince O3 Hybrid MP) je kvalitněji vyroben.

9. Závěr

Po celou historii vývoje tenisu byla snaha, aby tenisové rakety vykazovaly co nejlepší herní vlastnosti a byly pro hráče co možná nejkomfortnější. Použité materiály a technologie často odpovídaly maximu, které bylo v daných oborech výroby možno dosáhnout.

Od původních dřevěných raket, vyrobených z ohnutého kusu javorového dřeva, se výroba dostala přes kovové tenisové rakety až k použití kompozitních materiálů. V současnosti se k výrobě rámu tenisových raket nejvíce používá grafit, hliník a titan.

V současné době existuje několik velkých výrobců tenisových raket, z nichž se každý snaží vyrobit tenisové rakety s nejlepšími užitnými vlastnostmi. Z tohoto důvodu jsou vyvíjeny stále nové technologie konstrukcí rámu tenisových raket, včetně materiálů, používaných k jejich výrobě. Tyto materiály by měly mít nízkou hmotnost, velkou pevnost v ohybu a zároveň co nejvíce tlumit vibrace.

Pro dosažení optimálních herních vlastností je nutno tenisové rakety i dobře nadimenzovat různými počítačovými simulacemi a výpočty, kterými se zjišťují např. polohy sweet spotů nebo vyvážení rámu tenisové rakety.

Při hře může z různých důvodů dojít k poškození rakety a pak se naskýtá dobrá možnost podívat se na vnitřní stavbu celé konstrukce. Při studiu dvou vzorků poškozených raket byla zjištěna různá kvalita kladení vláken a zvláště stupeň jejich prosycení pryskyřicí, což mělo za následek snížení funkčnosti rakety a její větší či menší poškození, které však v obou případech znamenalo konec provozního použití.

Seznam použité literatury

- [1] DOUGLAS, Paul. *Naučte se tenis přes víkend*. Londýn: Dorling Kindersley Limited, 1991. ISBN 80-901464-0-6.
- [2] HÖHM, Jindřich. *Tenis*. Praha: Olympia, 1982. ISBN 27-039-82.
- [3] PARSONS, John. *Velká encyklopedie TENIS: Ilustrovaný průvodce světem tenisu*. Praha: Václav Svojtka & Co., 1998. ISBN 80-7237-103-7.
- [4] Tennis Racket. *How Products are Made* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.madehow.com/Volume-3/Tennis-Racket.html>
- [5] History. *ITF Tennis - TECHNICAL* [online]. Londýn: International Tennis Federation [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.itftennis.com/technical/rackets-and-strings/other/history.aspx>
- [6] The History of the Tennis Racquet. *TENNIS WAREHOUSE* [online]. 2009 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://tt.tennis-warehouse.com/index.php?threads/the-history-of-the-tennis-racquet.255504/>
- [7] Wilson T2000? In: *TENNIS WAREHOUSE* [online]. 2012 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://tt.tennis-warehouse.com/index.php?threads/wilson-t2000.443750/>
- [8] Z čoho je vyrobená tenisová raketa? *TenisovýSvet* [online]. 2014 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://tenisovysvet.takurcitee.sk/clanok/1330/z-coho-je-vyrobena-tenisova-raketa>
- [9] *Babolat* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.babolat.cz/innovation/tennis>
- [10] *Tenisové rakety a vybavení* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.sportobchod.cz/tenis>
- [11] Manufacturer Technologies. *TENNIS WAREHOUSE* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.tennis-warehouse.com/lc/technologies.html>
- [12] Innegra Fiber. *Innegra Technologies* [online]. 2015 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.innegrates.com/fibers>
- [13] Racquet Technology. *Merchant of Tennis* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.merchantoftennis.com/blogs/technologies/>
- [14] Making a racket: the science of tennis. + *plus Magazine* [online]. 2010 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://plus.maths.org/content/science-tennis>
- [15] The Racquets of the Woody. *The Woody* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.thewoody.net/webpages/racquets/racquetconstruction.html>

[16] How a Tennis Racquet is Made. In: *YouTube* [online]. 2013 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=sgV2DMstyPo>