



Fakulta aplikovaných věd  
Katedra mechaniky

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

## Úchytky pro košíky na láhve za triatlonové sedlo

Autor práce  
Vedoucí práce

Pavla Lisnerová  
Ing. Tomáš Kroupa, Ph.D.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta aplikovaných věd  
Katedra mechaniky  
Akademický rok: 2021/2022

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení : **Pavla Lisnerová**  
Osobní číslo : **A20B0409P**  
Studijní program : **B0715A270014 / Počítačové modelování v  
mechanice**  
Název tématu : **Úchytky pro košíky na láhve za triatlonové sedlo**

### **Zásady pro vypracování:**

V rámci práce budou navrženy úchytky pro košíky na lahve za triatlonové sedlo značky Fi`zi:k. Cílem práce je navrhnout úchytky z kompozitního materiálu s co nejjednodušším tvarem, které bude možné vytisknout na 3D tiskárně. Postupné kroky k dosažení hlavního cíle jsou:

1. Vytvořit MKP model tělísek pro tahové a tlakové zkoušky v systému Abaqus. Model bude naprogramován pomocí jazyka Python.
2. Pomocí kombinace přímé analýzy experimentů a porovnáním s MKP modelem zjistit a identifikovat potřebné materiálové parametry pro lineární elastický model včetně pevností.
3. Vytvořit MKP model úchytek v systému Abaqus, který bude také vytvořen pomocí programu v jazyce Python tak, aby bylo možné automatizovat proces optimalizace.
4. Dle potřeby ručně nebo s pomocí optimalizačního softwaru najít nejlehčí možné řešení úchytek takové, které vyhoví všem pevnostním a dalším požadavkům na výrobek.

Rozsah práce: 20-30 stran A4 včetně příloh

Forma zpracování: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. Rosenberg, J.; Křen, J.: Mechanika kontinua, ZČU v Plzni, 1998
2. Laš, V.: Mechanika kompozitních materiálů, ZČU v Plzni, 2008
3. Bathe, K. J.: Finite element procedures, Prentice hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA 2007
4. Manuál k software Abaqus
5. Manuál k software Python

Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Kroupa, Ph.D.**  
(KME)

Datum odevzdání práce: **31. května 2022**

.....  
doc. Ing. Miloš Železný, Ph.D.  
děkan

.....  
doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s využitím konzultací s vedoucím bakalářské práce, odborné literatury a pramenů v přiloženém seznamu.

.....

Datum

.....

Pavla Lisnerová

## Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat svému konzultantovi panu Ing. Tomáši Kroupovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky, skvělý přístup a pozornost při zpracování práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Tomáši Kalinovi za rady a práci s 3D tiskem. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svému příteli a rodině za podporu po celou dobu studia.

## Abstrakt

V rámci práce budou navrženy úchytky pro košíky na lahve za triatlonové sedlo značky Fi'zi:k. Cílem práce je navrhnout úchytky z kompozitního materiálu s co nejjednodušším tvarem, které bude možné vytisknout na 3D tiskárně. Postupné kroky k dosažení hlavního cíle jsou:

- Vytvořit MKP model tělísek pro tahové a tlakové zkoušky v systému Abaqus. Model bude naprogramován pomocí jazyka Python.
- Pomocí kombinace přímé analýzy experimentů a porovnáním s MKP modelem zjistit a identifikovat potřebné materiálové parametry pro lineární elastický model včetně pevností.
- Vytvořit MKP model úchytek v systému Abaqus, který bude také vytvořen pomocí programu v jazyce Python tak, aby bylo možné automatizovat proces optimalizace.
- Dle potřeby ručně nebo s pomocí optimalizačního softwaru najít nejlehčí možné řešení úchytek takové, které vyhoví všem pevnostním a dalším požadavkům na výrobek.

Obecným cílem práce bylo tedy vyzkoušet možnosti a vhodnost 3D tisku kompozitního materiálu s dlouhými vlákny pro aplikace tohoto typu.

Klíčová slova: kompozitní materiál, držák na lahev, MKP model, Tsai-Wu kritérium

## Abstract

The main aim of the bachelor thesis is to design adapters for the bottle cages placed behind the Fizik triathlon saddle. The adapters will be made of composite material with the simplest possible shape that can be printed on a 3D printer. The progressive steps to achieve the main goal are:

- To create a FEM model of specimens for tensile and compressive tests in the Abaqus system. The model will be programmed using Python.
- To determine and identify the necessary material parameters for the linear elastic model, including strengths using a combination of direct analysis of experiments and comparison with the FEM model.
- To create a FEM model of adapters in the Abaqus system, which will also be created using a Python program so that it is possible to automate the optimization process.
- As necessary, manually or with the help of optimization software, find the lightest possible handle solution that meets all strength and other product requirements.

The general aim of this work was to test the possibilities and suitability of 3D printing of composite material with long fibers for applications of this type.

Key words: composite material, bottle holder, FEM model, Tsai-Wu criterion

# Obsah

<b>1</b>	<b>Využití kompozitních materiálů ve sportu</b>	<b>1</b>
1.1	Ostatní výbava na kole . . . . .	3
1.2	Využití 3D tisku kompozitních materiálů v cyklistice . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Materiálový model kompozitu a stanovení materiálových parametrů</b>	<b>8</b>
2.1	Typy vláknových kompozitů . . . . .	8
2.2	Elastické konstanty jednosměrového kompozitu . . . . .	8
2.3	Posouzení pevnosti . . . . .	9
2.4	Stanovení materiálových parametrů . . . . .	10
2.5	Identifikované materiálové parametry vrstvy . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Materiálový model ostatních použitých materiálů a materiálové parametry</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Návrh kompozitních úchytek pro košíky na láhve pod sedlo s minimální hmotností</b>	<b>14</b>
4.1	Návrh tvaru . . . . .	14
4.2	Odstranění koncentrátorů napětí . . . . .	16
4.3	Rozdílné tloušťky částí úchytky . . . . .	16
4.4	Okrajové podmínky a vazby . . . . .	16
4.5	Zatížení . . . . .	17
4.6	Způsob tisku vláken ve vrstvě . . . . .	19
4.7	Nalezení skladby vrstev pro variantu zatížení 1 . . . . .	21
4.8	Nalezená skladba vrstev pro variantu zatížení 2 . . . . .	23
4.9	Posouzení pevnosti vrstev z Onyx . . . . .	24
4.10	Výroba a ověření . . . . .	25
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Reference</b>	<b>28</b>



# 1 Využití kompozitních materiálů ve sportu

Obecně řečeno, ve sportovním odvětví již pominuly časy dřevěného nebo ocelového sportovního náčiní. Konvenční materiály se již nevyužívají v takové míře. Ocel je kvalitní materiál, bohužel poměr hmotnosti k tuhosti a pevnosti není již tak výhodný pro řadu aplikací. Plast je dobře tvarovatelný a díky nižší hustotě lehký materiál, který však neoplývá požadovanou pevností. Nevýhodou dřeva je zase jeho nízká odolnost proti vnějším vlivům, které snižují životnost [1]. Zmíněné materiály se musí navíc povrchově ošetřovat. V tab. 1 je porovnán modul pružnosti, hustota a některé vlastnosti materiálů používaných dříve či dnes v cyklistice (s výjimkou plastu).

Tab. 1: Některé charakteristické vlastnosti pro dané materiály [2, 3, 4]

	$E$ [GPa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Výhody	Nevýhody
dřevo	10	430 - 1000	možnosti zpracování	náročnost údržby
ocel	210	7700 - 8030	tvarová variabilita, snadná montáž, výrobní přesnost	pevnost/hmotnost, koroze
hliník	70	2700	nízká hmotnost, lehká opracovatelnost	vysoký součinitel tepelné vodivosti
titan	116	4506	pevnost/hmotnost	vysoké náklady
plast	0,18 - 3,6	900 - 1350	tvárnost	nízká pevnost
kompozit uhlík/ epoxid	až 142	1600	pevnost/hmotnost, korozní odolnost, pevnost za zvýšených teplot, anizotropie	výrobní/cenová náročnost, složitost oprav

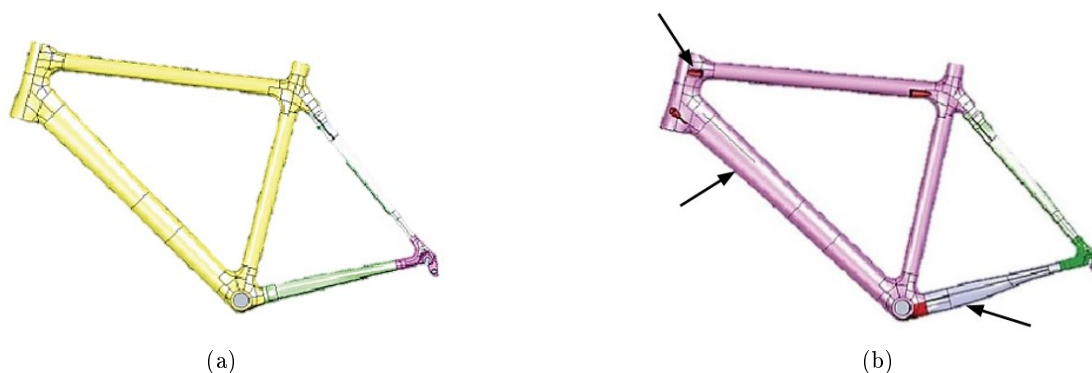
V cyklistickém odvětví se výrobci snaží nabídnout zákazníkům široký sortiment jízdních kol a vybavení z určitých materiálů a vlastností pro konkrétní potřebu cyklisty. Na výrobu rámu jízdních kol se využívá ocel, různé druhy slitin oceli, hliníku a titanu. I když jízdní kola s ocelovým rámem jsou dodnes známkou spolehlivosti a jejich popularita neklesá, uhlíkový kompozit, který dosahuje až 3× lepšího poměru pevnosti/tuhosti vůči hmotnosti, se těší stále větší oblibě a rozšíření nabírá vysoké rychlosti [5]. Uhlíkový kompozit se využívá v jednotlivých částech jízdního kola - rám, sedlovka, kola, vodítko řetězu, sedlo, pedály atd., ale i vybavení, jako je zpevněná konstrukce cyklistické helmy nebo kompozitní košíky na lahev. Podle průzkumu utratí Češi jakožto národ cyklistů 6300 Kč ročně za samotné cyklistické vybavení a průměrná cenová kategorie nejoblíbenějších jízdních modelů kol je 20000 Kč [6].

Již od konce 19. století se vyvíjejí konstrukce jízdních kol a jejich částí. Jedním z aspektů stálého vývoje je snaha zvýšit pevnost, zredukovat hmotnost jízdního kola a celkově zdokonalit aerodynamické vlastnosti. Extrémně lehké rámy nebo komponenty jsou limitovány omezenou hmotností jezdců, životností dílů nebo nevhodností využití kola na závodní cyklistiku [7]. V profesionální oblasti je extrémně nízká hmotnost kola nežádoucí, protože podle pravidel Mezinárodní cyklistické federace UCI je stanoven váhový limit kola nad 6,8 kg. Tento standard byl uveden v platnost v roce 2000, kdy se začaly objevovat první kompozitní kola, jejichž váha byla kolem 5,5 kg. Důvodem limitu je konzervativní přístup federace, která neuznává překotný technologický vývoj a lehký rám představoval ohrožení bezpečnosti cyklistů. Dnes již technologický posun tkví ve vývoji a vylepšování drobných detailů, které však mohou přinést velký náskok oproti soupeřům [8].

Sportovní odvětví využívá asi 20% celkové produkce uhlíkových vláken, přičemž výroba dílů pro

jízdní kola představuje pouze 5% celosvětové spotřeby. Nejlevnější kompozitní kola lze pořídit od 25 do 30 tisíc Kč, celosvětově nejdražší se pak pohybují dokonce mezi 500 tisíci až 11 miliony [9, 10]. Kompozitní materiály lze vyrobit tak, aby vyhovovaly určitým mechanickým vlastnostem, aniž by se změnil celkový strukturální tvar součástí. Dalším přínosem je tvarová rozmanitost. Výrobce rámu tak může upravovat vlastnosti kola v určitých partiích rámu. V případě cyklistiky se doposud využívají výhradně kompozity s polymerní maticí a výztuží z uhlíkových vláken. U tkaných vláken nastává problém při výrobě, a proto se používají spíše na povrchu rámu z designového hlediska k docílení „známého“ uhlíkového vzhledu. Různé přístupy k výrobě rámu pomocí rozmanité škály technologií lze nalézt v [5, 11, 12, 13].

Na obr. 1 je příklad konstrukčních změn mezi prototypem a finální verzí při testování silničního rámu kola Velocite Geos, kterých lze dosáhnout právě díky využití kompozitních materiálů. Pokud má být trubka zesílena jen v určitém místě, přidáním více kompozitních vrstev se nezvýší aerodynamický odpor. Konečný výrobek získal mohutnější část spodní trubky zadní vidlice, nové vrstvy uhlíkových vláken v blízkosti hlavové trubky, což na první pohled z obr. 1b nemusí být vidět a ergonomické změny vnitřního vedení kabelů. Zvětšení povrchové plochy spodní vidlice a konzoly vede k roložení smykového napětí. Změnou tloušťky průřezu trubek rámu se tlumí vibrace z povrchu vozovky, neboť části rámu mají rozdílnou hmotnost, a tedy i různé rezonanční frekvence [11, 14].



Obr. 1: Prototyp (a) a finální rám (b) kola Velocite Geos [14]

Uspořádání uhlíkových vláken a kvalita výroby jsou důležité pro schopnost kontrolovat torzní zatížení, které je způsobeno šlapáním, neboť nohy tlačí na pedály v určité vzdálenosti od rámu. Ve většině případech jsou vrstvy s vlákny pod úhlem  $0^\circ$  od směru osy trubky, tedy směřující po její délce. Směr vrstev s vlákny  $90^\circ$  od směru trubky, tedy po obvodu, je nejméně důležitý směr a využívá se zejména k zajištění pevnosti v místech, kde je to nezbytně nutné. Vrstvy  $\pm 45^\circ$  nejlépe odolávají torzním a smykovým silám, a proto jsou vhodně doplňovány do trubek k vrstvám se sklonem vláken  $0^\circ$  [15].

Nejčastěji se vyrábí rám po částech, které jsou následně slepeny do výsledného produktu. Technologii výroby kompozitních rámu jízdních kol lze rozdělit do dvou metod - vlepením trubek do rámových spojek a spojení trubek bez rámových spojek [11].

### Výroba rámu vlepením trubek do rámových spojek

V konstrukci rámu jsou tzv. oka, která slouží ke spojení jednotlivých předem tvarovaných trubek.

Jednotlivé části jsou spojeny lepidlem. Mezi přednosti tohoto procesu patří úprava vlastní geometrie a nižší náklady na práci a vybavení. Výhodou je dále možnost opravy jednotlivých částí rámu. Nicméně je zde riziko použití nekvalitního lepidla. Spojky jsou běžně vyrobeny z oceli nebo také z uhlíkových vláken [11, 12].

### Výroba rámu spojením trubek bez rámových spojek

#### Spojení trubka - trubka, lepená trubka

Metoda je analogická ke svařování předtvarovaných trubek, ale s rozdílem slepení kompozitních trubek epoxidovým lepidlem. Místo spoje je pokryto většinou uhlíkovou tkaninou a prosyceno pryskyřicí. Kompozit je uzavřen ve speciálních malých formách obklopujících jen lepený spoj a rám se teplotním procesem vytvrdí. Spoje dosahují výborné pevnosti srovnatelné se zbytkem struktury a metoda je proto vhodná pro velkoobjemovou hromadnou výrobu [11].

#### Monocoque konstrukční metoda

V této metodě jsou jednotlivé spojené části celého rámu sesazeny ve formě. Z finančních důvodů a kvůli tvarové složitosti konstrukce rámu zatím není běžné vyrábět celý rám v jedné formě, ale můžou se takto vyrábět např. vrcholové modely značky. Mezi výhody metody patří rychlost procesu a přesnost nadefinování vyztužení podle konkrétního namáhání. Nevýhodou jsou pak vysoké vstupní náklady na výrobu a obtížné možnosti opravy poškozených dílů [11, 16].

## 1.1 Ostatní výbava na kole

Během jízdy si cyklista převáží lahev s vodou, náhradní duši na kolo, pumpičku, případně plynovou bombičku s  $CO_2$ , nářadí a zámek. Profesionální závodníci v triatlonu pak přepravují i stravu v podobě energetických tyčinek a gelů.

Cílem předkládané práce je navrhnout kompozitní úchytku pro košík na lahev s vodou. Před návrhem byla provedena rešerše dostupného upínacího příslušenství.

#### Košíky na lahev

Na trhu existuje nepřeberné množství typů, kde může cyklista vybírat mezi materiálem plastovým, kovovým nebo kompozitním (obr. 2a).



(a) Kompozitní košíky [17, 18, 19]

(b) Designové variace košíku [20, 21, 22]

Obr. 2: Příklady košíků

Dále je pak variabilita v nadčasovém či designovém modelu (obr. 2b), držákem na rám kola, za sedlo, přicvakávacím či s otočným zařízením. Cena takového příslušenství se obvykle pohybuje od 50 do 1700 Kč. Obr. 2a představuje příklad vyráběných kompozitních košíků na lahev obsahující uhlíkovou výztuž či polymerní matici.

### Adaptéry pro držáky na lahev

V další fázi rešerše byly zkoumány adaptéry pro košík na lahev a jejich montáž na rám kola. Adaptéry se používají v případě, že chce mít cyklista umístěnou lahev na nějakém nestandardním místě. Lze je pomyslně rozdělit na dvě skupiny - s použitím přídavné pásky a smontovatelné na části rámu. U těchto výrobků se především využívají materiály plast a kov. Kompozity se pro tyto účely nevyužívají. Adaptéry bez použití pásky (obr. 3) se přišroubují do částí rámu se závitovým návarkem. Působí mnohdy vedle lehkého držáku na lahev zbytečně robustně, obr. (3a). Některé jsou vyráběny na konkrétní model rámu kola a nejsou tak univerzální. Společnost Fidlock navrhla přicvakávací koncept (obr. 3b), který je založen na magnetickém uzávěru uchyceném v mechanickém zámku. Obrácení polarity a odemčení zámku je možné jednou rukou, a to nakloněním zámku [23].



Obr. 3: Příklady adaptérů

Výhodou použití adaptérů s použitím pásky k rámu (obr. 4) je variabilita místa uchycení (řídítka, sedlová trubka, rám nebo vidlice) omezena jen délkou pásky. Jsou opatřeny silikonovou vrstvou pro lepší fixaci při jízdě v náročném terénu a pro ochranu rámu proti poškrábání. Adaptéry jsou většinou dostupné ve variantě suchého zipu nebo stahovacího pásku a jsou vhodné např. pro elektrokola, kde jsou omezené možnosti na upnutí.



Obr. 4: Adaptéry držáku s přídavnou páskou [27], [28], [29], [30]

### Upnutí přídatného vybavení

Jedná se o příslušenství pro servis kola, jako je duše na kolo, plynová bombička a montpáka (obr. 5). Tento požadavek výrobci řeší např. přídatnou brašnou pod sedlo uchycenou suchým zipem nebo zacvakávacím systémem, do které se může schovat potřebné nářadí. Další možností může být box nebo šroubovací lahev s víčkem, která se zasune do košíku místo lahve. Jinou variantu pak představují samostatně našroubované bombičky do držáku, externě připevněné montpáky, duše nebo úložné prostory přímo v rámu u kol z vyšších kategorií (viz obr. 6).



Obr. 5: Držáky s vybavením [31, 32, 33, 34, 35]

### Integrované nádrže na vodu

Společnost Canyon vyvinula systém vaku na vodu zabudovaný v rámu, ze kterého má cyklista pomocí trubičky příjem tekutin na dosah. Vak se dá také doplnit bez vyndání z rámu. Oproti tomu firma Specialized přišla na trh s modelem kola, který má aerodynamicky tvarovaný zásobník vody přichycený k sedlové trubce [36, 37].



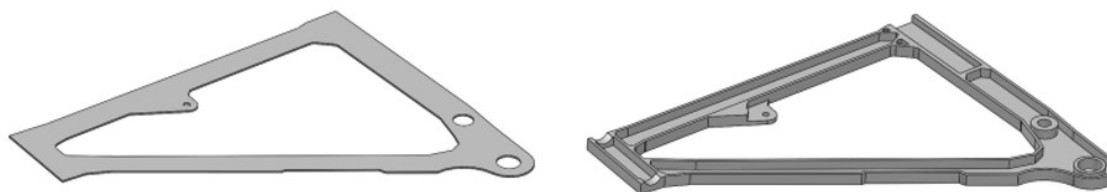
Obr. 6: (a) Detail uložení vaku modelu Canyon Speedmax [36], (b) Model Specialized Sworks Shiv [37]

## 1.2 Využití 3D tisku kompozitních materiálů v cyklistice

Trojrozměrný tisk nebo také aditivní výrobní technologie umožňuje výrobu dílů nejčastěji z plastů a kovů za pomoci vrstvení roztaveného materiálu. Díky této revoluční technologii lze zhotovit součásti, které nabízí využití v mnoha průmyslových odvětvích. Ve sportovním odvětví umožňuje navrhovat vybavení na míru se zaměřením na zvýšení pohodlí a také lepší výkon. Cyklistika patří bezesporu mezi sporty, kde lze nalézt využití 3D tisku ve velkém množství.

3D tisk kompozitů z uhlíkových vláken je poslední dobou postupně se vyvíjející technologie a funguje velmi podobně jako tradiční technologie 3D tisku plastů. Geometrie modelu je rozdělena na jednotlivé stavební vrstvy a každá z nich představuje rovinný povrch. Ten hlava nástroje sleduje a vytlačuje materiál po předem určených drahách, aby se vytvořila vrstva. Nejprve se na rovinu desky promítne profil, čímž se docílí základní podpěry pro další vrstvy. Vertikální geometrie ve směru  $z$  se vytváří postupným přidáváním vrstev. Obr. 7 představuje návrh rámu kola touto technologií z projektu kalifornské technické univerzity. V tuto chvíli neexistuje celé kompletně vytištěné kolo, jde spíše o určité komponenty, jako je sedlo, rám, pedály, atd. [38].

V oblasti 3D tisku kompozitů vyztužených dlouhými vlákny existuje na trhu jediný výrobce, a sice společnost Markforged. Pro výrobu je potřeba speciálně upravená tiskárna s dvěma tryskami, z nichž jedna je určena k tisku termoplastu a druhá k tisku kompozitních vláken [39].



Obr. 7: 3D tisk rámu [38]

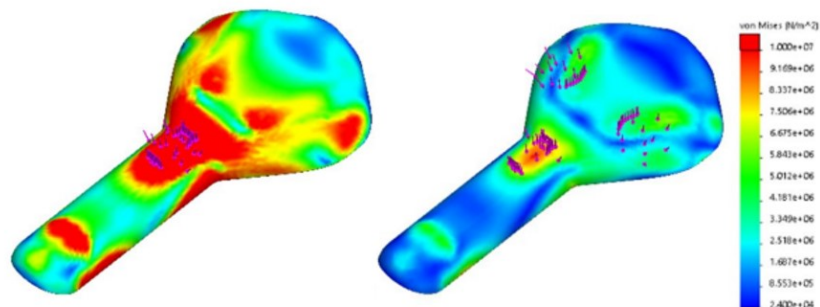
Na 3D tisku kompozitních rámu kol pracuje ve světě několik málo firem: Arevo [40], Superstrata [41] a Vorteq, která dostala za jejich řešení rámu i ocenění [42].

Další tématikou jsou sedla, která hrají klíčovou roli v poskytování pohodlí za jízdy. Společnost Specialized Bicycles za spolupráce se společností 3D tiskáren Carbon vytváří 3D tištěná sedla. Jako první firma využila pro ergonomii sedla personalizaci produktů, a to korelaci sedací kosti jezdce na šířku sedla. Výsledkem je snížení tlaku v sedacích kostech. To, co je 3D tištěnou částí sedla, bývalo tradičně pěnou na sedle. Společnost nahradila tradiční přístup složitou mřížkovou strukturou z elastomerní sloučeniny karbonu, která překonala limity pěny a zvyšuje výkon, ochranu a pohodlí cyklisty. Díky 3D tisku je možné rychleji upravovat změny jako hustotu pěny, strukturu nebo tvar, což by ve výrobním procesu trvalo déle. Technologií je možné v rámci jednoho dílu vytvořit několik různých anatomických zón sedla s proměnlivou hustotou a poddajností podle potřeb cyklisty [43].

Vývoj a testování plně přizpůsobitelného sedla z 3D tiskárny probíhá také v české společnosti Posedla, která vznikla díky podpoře Josefa Průši, jednoho z nejlepších výrobců 3D tiskáren na světě. Ližiny a skelet sedla jsou vyrobeny z karbonu, polstrování zatím zůstává výrobním tajemstvím. Tým vyvíjí myšlenku sedla na míru pomocí vzdálené konfigurace. Po objednání zájemce obdrží testovací sadu a přístup do ostré verze digitálního konfigurátoru. Tam zákazník zadá svoje parametry a díky sadě si podle návodu změří vzdálenost sedacích kostí. Díky fotogrametrii a parametrickému

modelování se vytvoří přesný digitální model sedla, který se následně vyrobí. Celková váha sedla by měla být 140 – 180 g [44].

Na obr. 8 převzatém z práce výroční technické konference Wisconsinské univerzity jsou koneč-noprvkovou analýzou znázorněny zatěžovací zóny sedla z 3D tisku. Levá pozice vystihuje jezdce nakloněného dopředu, což má za následek předsunutí těžiště a zvýšení zatížení středu sedla. Pravý obr. pak ilustruje jezdce v horní poloze, kdy je jeho těžiště dále dozadu a napětí na sedlo se sou-střeďuje po obou stranách zadní části a uprostřed kvůli anatomické stavbě lidské pánve [45].



Obr. 8: Zatěžované sedlo jezdcem nakloněným vpředu (vlevo) a v horní poloze (vpravo) [45]

## 2 Materiálový model kompozitu a stanovení materiálových parametrů

Kompozitní materiál je materiál složený ze dvou nebo více složek, které se liší chemickými, fyzikálními i mechanickými vlastnostmi. Vlastnosti výsledného materiálu jsou dány vlastnostmi jednotlivých použitých složek, objemovým podílem a geometrií vyztužení. Mezi složky kompozitů patří výztuž, kterou převážně tvoří vlákna impregnována ve spojitě fázi - matici (pojivo). Výztuž přenáší hlavní zatížení. V důsledku směru kladení vláken může výsledný homogenní materiál vykazovat v různých směrech odlišné mechanické vlastnosti (pevnost a tuhost). Přínosem je ovlivnění těchto vlastností pro daný směr cílenou výrobou materiálu. Významnou vlastností je poměr vysoké pevnosti a tuhosti k hmotnosti, a proto se kompozity používají tam, kde je potřeba lehkých a pevných konstrukcí. Mezi další přednosti patří korozivzdornost a variabilita designově složitých dílů. Nevýhodou kompozitů jsou pak mnohdy složité způsoby výroby a vyšší náklady při dimenzování náročnějších konstrukcí. Dále je obtížné nalézt a opravit případné lokální poškození. U jednosměrových vláken vyztužených kompozitů jsou nevýhodou horší mechanické vlastnosti ve směru kolmém na směr uložených vláken [47, 46].

Nejčastěji používaná vlákna jsou uhlíková, skleněná nebo aramidová. Z důvodu použití vláknových kompozitů v této práci jsou dále zmiňovány jen typy výztuže v této podobě.

### 2.1 Typy vláknových kompozitů

Níže je uveden výčet některých typů vláken, které je možné vzájemně kombinovat se zvoleným materiálem matrice a docílit tak požadovaných vlastností. Některé zmíněné formáty se využívají i v cyklistickém odvětví.

Jako výztuž do kompozitů se využívá řada typů, například sekaná vlákna. Podle délky vláken se rozlišují vlákna mletá, krátká a dlouhá sekaná. Vlákna jsou přivedena ke zpracování ve formě svazků. Procesu mletí lze využít za účelem získání menších částic materiálu, než je výchozí velikost a počtem opakování lze dosáhnout různé velikosti částic [49]. Existují různé způsoby mletí. Dále vlákna ve formě rovingu, což je snopek vláken obvykle prodáváných ve špulkách. Rohože jsou pak netkané textilie tvořené nahodile uspořádanými vlákny [48]. Rovingové tkaniny jsou určeny pro kontaktní laminování, pultruzi, navíjení a výrobu tkaninových prepregů [48]. V neposlední řadě lze pořídit vlákna, která jsou různými způsoby předem prosycena nebo obalena maticí - prepregy. Prodávají se v širokých rolích nebo kotoučích a obsahují paralelně uspořádané rovingy, tkaninu nebo rohože [48]. Vstupním materiálem vytlačeným z hlavy 3D kompozitní tiskárny jsou vlákna opatřena termoplastovým povlakem, který slouží jako matrice [39].

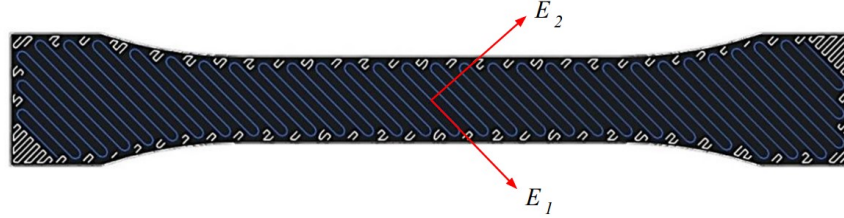
### 2.2 Elastické konstanty jednosměrového kompozitu

Níže uvedené vztahy jsou převzaty z [46]. Vlastnosti kompozitů závisí na materiálových charakteristikách jednotlivých složek a objemovém podílu vláken na celkovém objemu výsledného kompozitu. Závislé jsou také na geometrii uspořádání vláken. Pro ortotropní materiálový model, jímž lze za pomoci skořepinových prvků popsat chování 3D tisknutého kompozitního materiálu, kterým se zabývá tato práce, je nutné stanovit čtyři elastické konstanty, konkrétně



- $E_1$  - modul pružnosti v podélném směru,
- $E_2$  - modul pružnosti v příčném směru,
- $\nu_{12}$  - Poissonovo číslo,
- $G_{12}$  - smykový modul pružnosti.

Na obr. 9 jsou ukázány směry modulů pružnosti vzorku se sklonem vláken  $45^\circ$ . Modul pružnosti  $E_1$  je ve směru vlákna a  $E_2$  ve směru příčném na směr vlákna. Modré linky značí tisknuté snopky s uhlíkovými vlákny a bílé matricí.



Obr. 9: Směry modulů pružnosti  $E_1$  a  $E_2$

V případě lineárního elastického materiálu je vztah mezi napětím a deformací vyjádřen zobecněným Hookeovým zákonem

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}, \quad (2.1)$$

kde  $\mathbf{C}$  je matice tuhosti obecně s 21 nezávislými prvky. Inverzní tvar rovnice (2.1) je

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{C}^{-1} \cdot \boldsymbol{\sigma} = \mathbf{S} \cdot \boldsymbol{\sigma}, \quad (2.2)$$

kde  $\mathbf{S}$  je matice poddajnosti. V závislosti na použitém modelu v analýze konečných prvků se odvíjí tvar jednotlivých matic. Jednosměrový uhlíkový kompozit byl modelován skořepinovými prvky. Při použití skořepinových prvků a uvažování ortotropního materiálu, kterým jednosměrový kompozit použitý v této práci je, bude mít matice poddajnosti tvar

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 1/E_1 & -\nu_{12}/E_1 & 0 \\ -\nu_{12}/E_1 & 1/E_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/G_{12} \end{bmatrix}. \quad (2.3)$$

### 2.3 Posouzení pevnosti

V této práci bylo pro posouzení pevnosti výrobku použito kritérium Tsai-Wu. Podle tohoto kritéria lze index porušení vyjádřit jako

$$\mathcal{F} = f_i \cdot \sigma_i + f_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j, \quad i, j = 1, 2, \dots, 6. \quad (2.4)$$

Příčemž materiál je považovaný za neporušený, pokud

$$\mathcal{F} < 1. \quad (2.5)$$

Pro případ rovinné napjatosti bude kritérium nabývat následujícího tvaru

$$\mathcal{F} = \left(\frac{1}{X^T} - \frac{1}{X^C}\right)\sigma_1 + \left(\frac{1}{Y^T} - \frac{1}{Y^C}\right)\sigma_2 + \frac{\sigma_1^2}{X^T X^C} + \frac{\sigma_2^2}{Y^T Y^C} + \frac{\sigma_{12}^2}{S_{12}^2}, \quad (2.6)$$

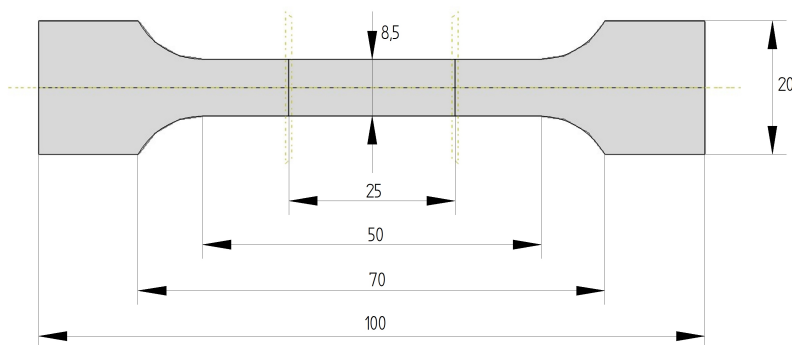
kde  $X^T$  je tahová pevnost ve směru vláken,  $X^C$  tlaková pevnost ve směru vláken,  $Y^T$  tahová pevnost v příčném směru,  $Y^C$  tlaková pevnost v příčném směru a  $S_{12}$  smyková pevnost v tahu.

Posouzení pevnosti vrstev z vyztužené matrice bylo kritériem Von Misesova napětí. Toto napětí musí tedy v libovolném bodě výrobku splňovat podmínku

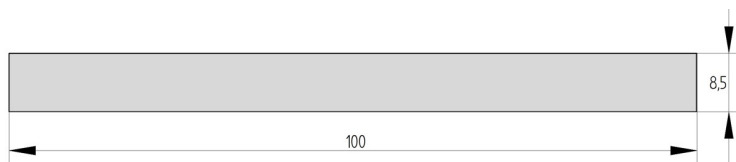
$$\sigma_{VM} < \sigma_D. \quad (2.7)$$

## 2.4 Stanovení materiálových parametrů

Pro určení neznámých materiálových hodnot modulů a Poissonova čísla bylo využito experimentálně naměřených hodnot zatěžovaného kompozitního trhacího vzorku o délce 100 mm (obr. 10 a 11). Šířka vzorku v úzké prostřední části byla 8,5 mm. Tloušťka jedné vrstvy se pohybovala okolo 0,14 mm, tloušťka vzorku s patnácti vrstvami byla 2,1 mm. Vrstvy na povrchu, tedy první a poslední, byly z matrice s nasekanými uhlíkovými vlákny pod obchodním názvem Onyx. Vnitřní výztuž pak byla složena vrstvami z uhlíkových vláken se sklonem  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  a  $45^\circ$ . Pro experimentální měření bylo použito sedm kusů od každého typu vzorku. Vzorky nebyly vyrobeny přesně podle norem z důvodu snížení výrobních nákladů.



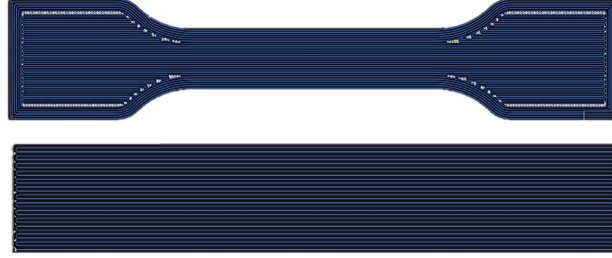
Obr. 10: Trhací vzorek pro tah



Obr. 11: Trhací vzorek pro tlak

Na obr. 12 jsou vidět jednotlivé vzorky pro tisk. Modré linky opět značí snopky s uhlíkovými vlákny a bílé jsou pak Onyx. Rozšířená část na koncích vzorků pro statickou zkoušku tahem je z

důvodu upnutí do čelistí trhacího stroje. Kvůli zvýšené koncentraci napětí je nutný plynulý přechod upínací části vzorku do prostřední pracovní.



Obr. 12: Tahový a tlakový vzorek pod sklonem  $0^\circ$

Naměřené hodnoty z tahových a tlakových zkoušek s využitím extenzometru jsou shrnuty v tab. 2. Pevnost v tahu/tlaku představuje množství síly na plochu potřebné k přetržení vláken, zatímco modul v tahu je mírou tuhosti uhlíkového vlákna.

Tab. 2: Změřené hodnoty pro tah a tlak

	$E_{eff}$ [GPa] efektivní modul pružnosti v tahu	$X_{eff}^T$ [MPa] efektivní pevnost v tahu	$X_{eff}^C$ [MPa] efektivní pevnost v tlaku
$0^\circ$	39,26	378,25	149,10
$45^\circ$	4,56	41,19	-
$90^\circ$	3,94	39,99	67,39

Hodnoty modulu pružnosti ve směru vláken  $E_1$  a směru příčném  $E_2$  se rovnou vypočetly z experimentu. Hodnota  $E_1$  je tedy rovna  $E_{eff}^0$  a  $E_2$  je  $E_{eff}^{90}$ .

Jediné parametry, které nelze vypočítat přímo z experimentu, jsou smykový modul  $G_{12}$  a pevnost ve smyku  $S_{12}$ . Pro identifikaci těchto parametrů byla využita kombinace naměřených dat z tahové a tlakové zkoušky (tab. 2) a výpočtového modelu v programu Abaqus.

Konečnoprvkový model byl vetknut v levé části a pravá část byla zatěžována. Pro zatížení bylo využito vazby coupling, která z daného referenčního bodu zatěžující síly zavazbí všechny uzly na hraně vzorku. Do modelu byly přidány tři referenční roviny, které rozdělily vzorek podélně v rovině symetrie a rovinách určující polohu dvou uzlů umístěných v úzké části vzorku, tedy polohu 25 mm (viz obr. 10). Tyto body sloužily k určení deformace extenzometrem a roviny určily správné síťování modelu konečnými prvky.

Nejprve byla stanovena zatěžující síla  $F$ , při které dojde k porušení vzorku dle vztahu

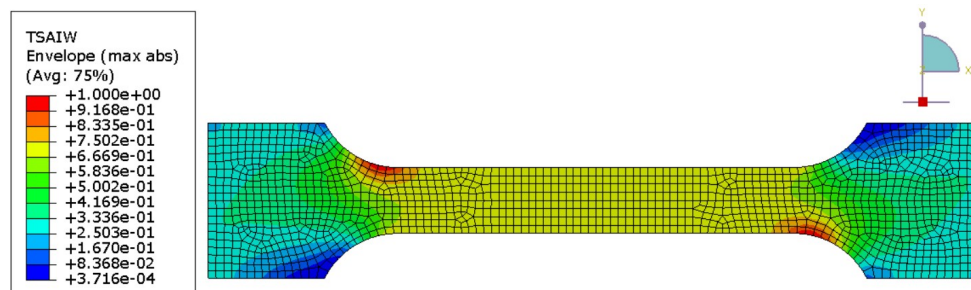
$$F_{tah}^u = X_{eff}^{45} \cdot A, \quad (2.8)$$

kde  $X_{eff}^{45}$  je efektivní pevnost ve směru vláken  $45^\circ$  a  $A$  obsah průřezu v úzké, tedy měřené, části vzorku. Pro výpočet deformace vzorku bylo třeba znát změnu vzdálenosti mezi dvěma uzly (body). Rozdíl hodnot byl následně vydělen původní vzdáleností uzlů (bodů) a výslednou deformaci pak lze vyjádřit jako

$$\varepsilon_{eff}^{45} = \frac{\Delta l}{l}, \quad (2.9)$$

kde  $\Delta l$  je prodloužení vzdálenosti mezi dvěma body ve výpočtu a mezi raménky extenzometru a  $l$  je původní vzdálenost uzlů (bodů) ve výpočtu a vzdálenost ramének extenzometru. V následujícím kroku byl hledán smykový modul  $G_{12}^T$  tak, aby efektivní modul pružnosti ve směru zatížení vzorku z výpočtu byl roven efektivnímu modulu pružnosti ve směru zatížení z experimentu.

Na závěr zbývá určit smykovou pevnost  $S_{12}$ . Zde je použito makromechanického kritéria porušení Tsai-Wu (viz kapitola 2.3). Smyková pevnost  $S_{12}$  materiálu byla hledána tak, aby index porušení v čase porušení vzorku byl roven jedné.



Obr. 13: Kritická místa na vzorku se sklonem vláken  $45^\circ$

## 2.5 Identifikované materiálové parametry vrstvy

Získané materiálové parametry pro vlákna a použité parametry pro matrici Onyx jsou shrnuty v tab. 3 a 4.

Tab. 3: Materiálové parametry vlákna

		Hodnota	Jednotky
$E_1$	modul pružnosti v tahu ve směru vláken	39,26	[GPa]
$E_2$	modul pružnosti v tahu v příčném směru	3,94	[GPa]
$G_{12}$	smykový modul pružnosti v rovině 12	5,59	[GPa]
$\nu_{12}$	Poissonovo číslo v rovině 12	0,3	[-]
$X^T$	tahová pevnost ve směru vláken	378,25	[MPa]
$X^C$	tlaková pevnost ve směru vláken	149,10	[MPa]
$Y^T$	tahová pevnost v příčném směru	39,99	[MPa]
$Y^C$	tlaková pevnost v příčném směru	67,39	[MPa]
$S_{12}$	smyková pevnost v tahu	50,8	[MPa]

Tab. 4: Materiálové parametry matrice Onyx

	$E$ [GPa]	$\nu$ [-]
matrice	1	0,3

### 3 Materiálový model ostatních použitých materiálů a materiálové parametry

Pro ostatní použité materiály v modelu držáku košíku na lahev předpokládáme homogenitu a izotropnost. Sedlo značky Fizik má spodní uchyťovací část vyrobenou z plastu. Pro upnutí úchytky do sedla je třeba použít podložek, které jsou vyrobeny z konstrukční oceli. K popisu izotropního elastického materiálového modelu stačí dvě konstanty, a to Youngův modul pružnosti  $E$  a Poissonovo číslo  $\nu$ . Sedlo a podložky byly modelovány pomocí osmiuzlových prostorových prvků a pro jejich využití musí být definován konstitutivní vztah pro obecnou prostorovou napjatost. V tom případě má matice tuhosti  $\mathbf{C}$  z (2.1) a matice poddajnosti  $\mathbf{S}$  z (2.2) tvar

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{11} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{21} & C_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2(C_{11} - C_{12}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2(C_{11} - C_{12}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2(C_{11} - C_{12}) \end{bmatrix}, \quad (3.1)$$

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{12} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{11} & S_{12} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{21} & S_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2(S_{11} - S_{12}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2(S_{11} - S_{12}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2(S_{11} - S_{12}) \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

a prvky matic lze vyjádřit pomocí konstant pružnosti [46]

$$C_{11} = \frac{E(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}, \quad C_{12} = C_{21} = \frac{E\nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}. \quad (3.3)$$

Modul pružnosti v tahu a Poissonovo číslo obou zmíněných materiálů jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5: Materiálové parametry ostatních použitých materiálů

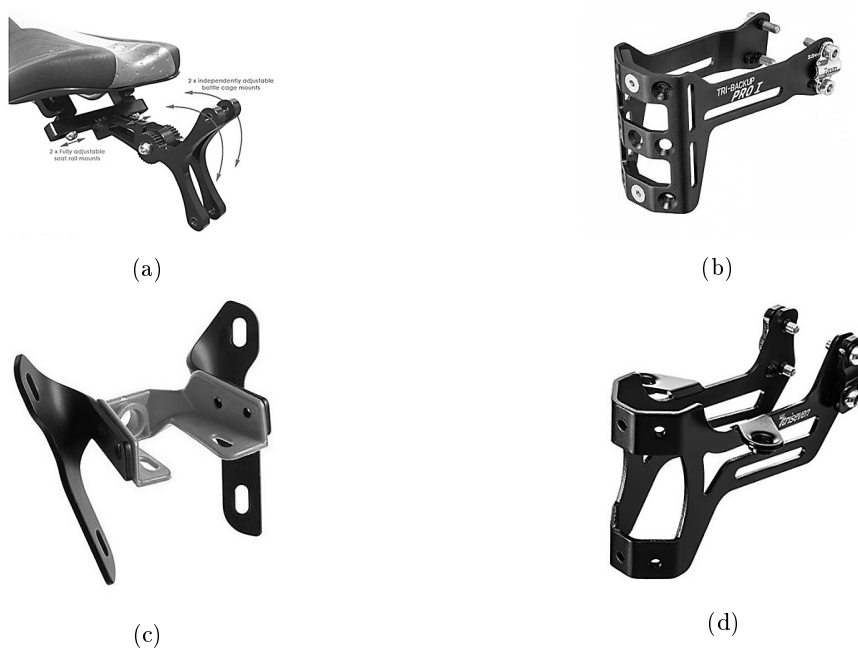
	$E$ [GPa]	$\nu$ [-]
plast	3	0,2
ocel	210	0,3

## 4 Návrh kompozitních úchytek pro košíky na láhve pod sedlo s minimální hmotností

Cílem práce bylo výslednou kompozitní úchytku pro košík na láhev pod sedlo vyrobit z kompozitu na 3D tiskárně tak, aby měla co nejnižší hmotnost a byla tvarově co nejjednodušší.

### 4.1 Návrh tvaru

Obr. 14 zobrazují inspirativní adaptéry držáků, které svým tvarem vystihují námi zamýšlenou úchytku. Držáky nesou dva až tři košíky, obr. 14a má navíc nastavitelnou polohu košíků a obr. 14c a 14d pak umožňuje nést i plynové bombičky.

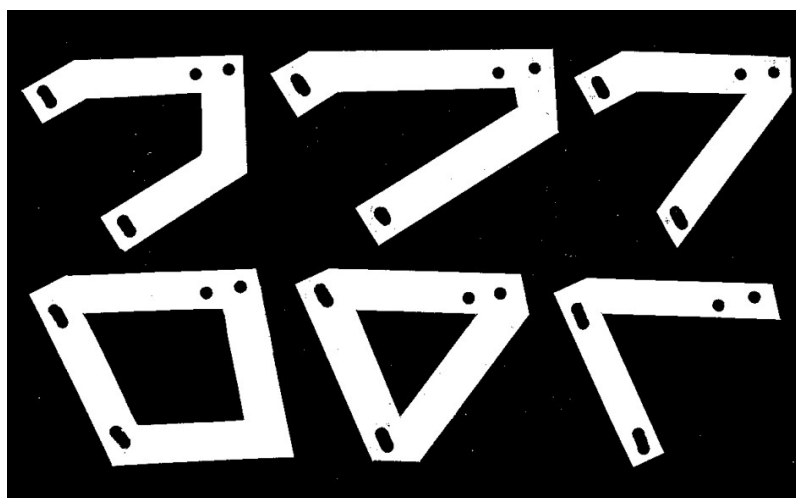


Obr. 14: Typy dostupných držáků pro košíky [50, 51, 52, 53]

Konečná podoba úchytky byla vytvořena dle inspirace z obr. 14c a hliníkového držáku Mistica značky Fi'zi:k (obr. 15). Tento zakoupený držák má hmotnost 63 g. V obr. 16 jsou ukázány tvarové variace navrhované úchytky. Přičemž z každé strany sedla Fi'zi:k se upne jeden kus. Jako nevhodnější a nejjednodušší byla vybrána varianta vpravo dole.



Obr. 15: Hliníkový držák značky Fi'zi:k [54]



Obr. 16: Zjednodušené tvary úchytky

V průběhu práce byl tvar úchytek zjednodušen na dvě samostatné úchytky vyhovující rozměrům sedla kola. Na 3D tiskárně pro čistý plast byla úchytka vytisknuta pro kontrolu rozměrů sedla a otvorů pro šrouby (obr. 17). Dále byly definovány vzdálenosti a úhel zalomení úchytky tak, aby tvar vyhovoval pohodlí cyklisty při sezení a vyjímání lahve za jízdy.



Obr. 17: První vytištěný prototyp úchytky z plastu na 3D tiskárně připevněný k sedlu

## 4.2 Odstranění koncentrátorů napětí

Z důvodu šíření trhlin při zatěžování v místě ostrého úhlu a hran byla úchytka zaoblena (obr. 18a). Nehladká silueta a ostré přechody by způsobovaly koncentrátoři napětí.

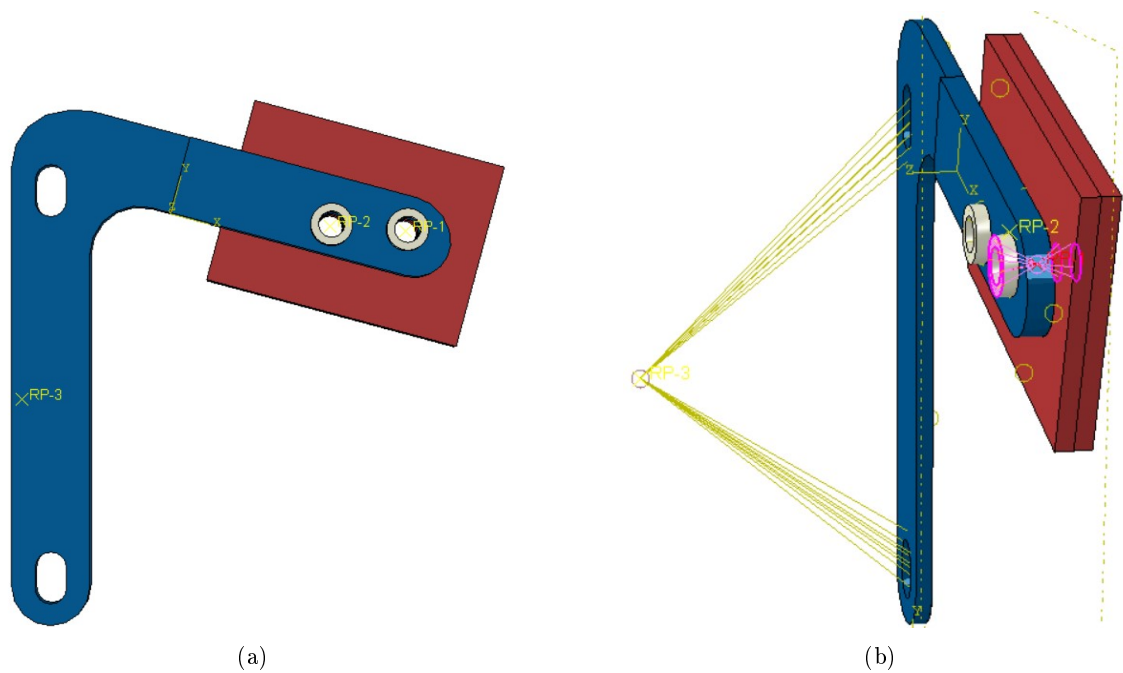
## 4.3 Rozdílné tloušťky částí úchytky

Pro upínací část do sedla bylo uvažováno případné zvětšení tloušťky kvůli přítomnosti šroubů a otvorů. Proto byla úchytka rozdělena na dvě části, které mohly mít rozdílný počet vrstev (obr. 18a).

## 4.4 Okrajové podmínky a vazby

V místě přišroubování úchytky k sedlu (obr. 17) byl model vetknut. Obr. 18b znázorňuje vazbu šroub procházející přes podložku a úchytku do zadní části sedla (zjednodušený model ve tvaru tenkého kvádra). V otvorech pro upevnění košíku na lahev byl svázaný vazbou coupling. Následně byly zadány materiálové parametry kompozitu a samotné matrice Onyx (viz kapitola 2.4). Pro splnění pevnostní podmínky má být index porušení úchytky opět  $\mathcal{F} < 1$ , čehož se dosáhne určením vhodného počtu a směru vrstev.





Obr. 18: Upnutá úchytka do sedla a dvě podložky pro šrouby (a) a vazba znázorňující šroub (b)

## 4.5 Zatížení

### Varianta 1

První variantou zatížení úchytky je gravitační síla od plné lahve již zasunuté v košíku. Hodnota zatěžující síly byla tedy součtem hmotností košíku na lahev a naplněnou lahví násobena gravitačním zrychlením

$$\begin{aligned} m &= m_k + m_l = 42 + 1100 = 1142 \text{ g}, \\ F_1 &= a \cdot m = 9,81 \cdot 1,142 \doteq 11,2 \text{ N}. \end{aligned} \quad (4.1)$$

Výslednice síly nesměřovala přímo ve směru uchycení košíku, a proto byla rozložena do průmětů (viz obr. 19a). Ve směru kolmém na rovinu úchytky (obr. 19b) byla přidána hodnota síly tvořící 20% z celkové síly, tedy

$$\begin{aligned} F_{1x} &= -F \cdot \cos(75) = -2,9 \text{ N}, \\ F_{1y} &= -F \cdot \sin(75) = -10,8 \text{ N}, \\ F_{1z} &= -2,2 \text{ N}. \end{aligned} \quad (4.2)$$

A síla byla aplikována ve vzdálenosti 45 mm od úchytky, tedy přibližně v těžišti plné lahve na vodu.

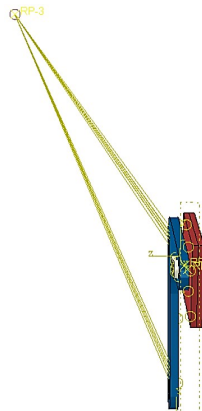


Obr. 19: Rozložení síly na úchytce ve směru  $x, y$  (a), síla ve směru  $z$  a vetknuté sedlo (b)

### Varianta 2

Další možné zatížení představuje síla od cyklisty, který lahev zasouvá do košíku. Tato síla byla určena tlačáním na silovou buňku s použitím naplněné lahve a košíku. Pro několik opakování vyšla hodnota síly vždy v okolí hodnoty 100 N. Pro simulaci byla upravena pozice působistě síly. To leží na horním vzdálenějším kraji myšlené lahve zasunutě v košíku ve vzdálenosti v horizontálním směru 80 mm a ve vertikálním směru 100 mm nad horní hranou úchytky. Opět bylo využito analogických vztahů pro průměty jako ve vztahu (4.2)

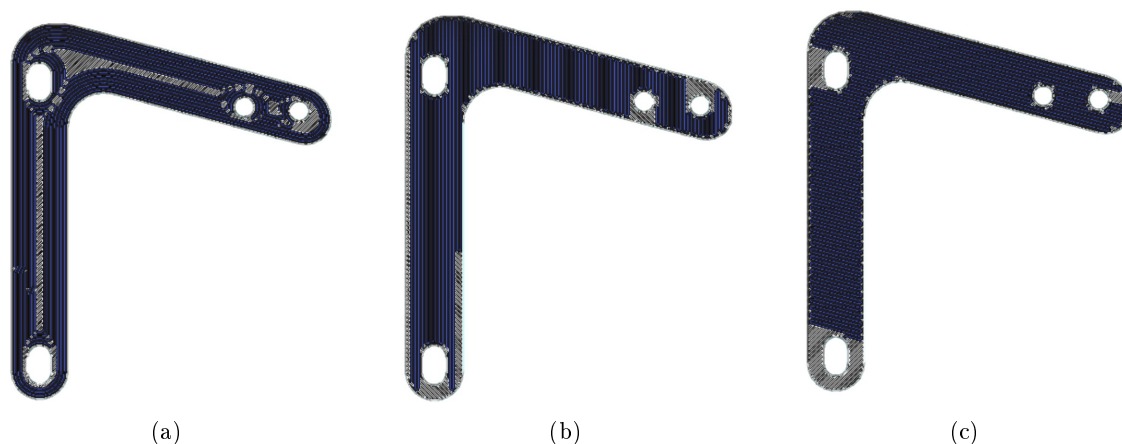
$$\begin{aligned}
 F_{2x} &= -25,9 \text{ N}, \\
 F_{2y} &= -96,6 \text{ N}, \\
 F_{2z} &= 0 \text{ N}.
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$



Obr. 20: Působistě síly v referenčním bodě pro situaci zasunutí lahve do košíku

## 4.6 Způsob tisku vláken ve vrstvě

Před hledáním vhodné skladby laminátu a počtu vrstev byly pro konkrétní tvar úchytky definovány možné způsoby tisku vrstev. Z praktického hlediska není možné do softwaru pro 3D tisk kompozitů zadat jakýkoliv návrh vrstvy. Software kontroluje optimální návaznost vláken, provázání s maticí a cíleně vždy nabízí vyrobitelné řešení. Rozložení vláken ve vrstvě je voleno uživatelem podle kritických míst nebo určitých podmínek na část tvaru, která potřebuje primárně vyztužit. V případě navrhované úchytky byly možnosti např. ovlivnit počet obvodových vláken a způsob kladení snopků vláken kolem otvorů. Porovnáním tras vláken na obr. 21a - 21c lze získat představu o problematice kladení snopků vláken kolem otvorů. Příkladem může být otvor úplně vpravo, který je oproti ostatním otvorům ochuzen o výztuhu vláknou kvůli nedostatku prostoru pro materiál. Způsob tisku vrstvy, kdy vlákna kopírují siluetu úchytky, byl označen jako P, protože jde podél hrany. Způsob tisku vrstvy, kdy je směr vláken rovnoběžný s částí uchycující lahev, byl označen jako  $90^\circ$  a pro rovnoběžná vlákna s horní hranou pak  $15^\circ$ . Materiál Onyx je označen jako o.

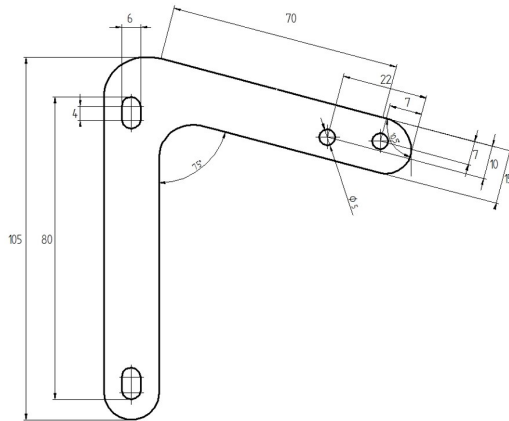


Obr. 21: Rozložení vláken pro systém (a) P, (b)  $90^\circ$  a (c)  $15^\circ$

V tomto kroku byla geometrie úchytky mírně upravena v návaznosti na požadavky pro 3D tisk. Z důvodu nalezení kritického místa v těsné blízkosti konce dotyku úchytky se sedlem byla dále upravena geometrie tvaru zobrazená na obr. 22.

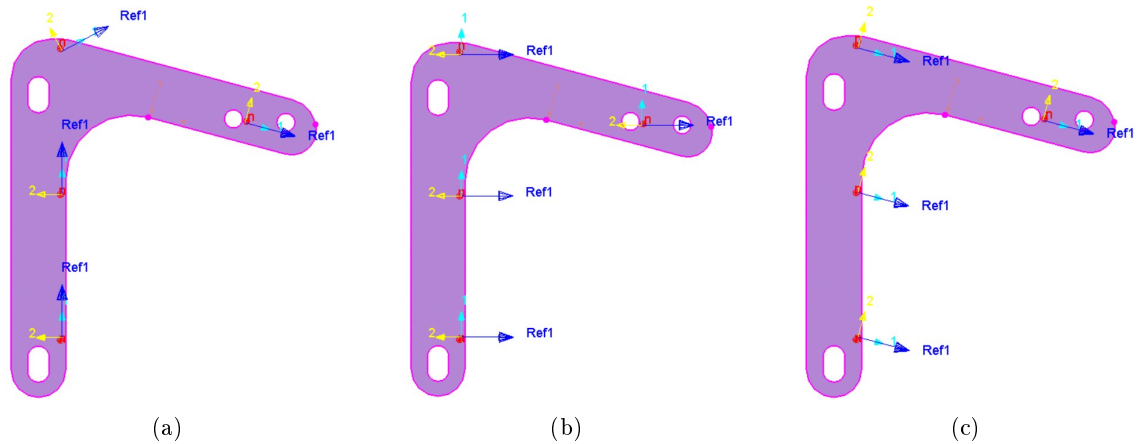
Software pro 3D tisk kompozitů neumožňuje vkládat vlákna do prvních a posledních čtyř vrstev a tyto vrstvy tedy nelze měnit. Pro libovolný celkový počet vrstev  $p_c \geq 9$  je tedy možné ovlivnit počet kompozitních vrstev  $p_{sk}$

$$p_{sk} = p_c - 8. \quad (4.4)$$



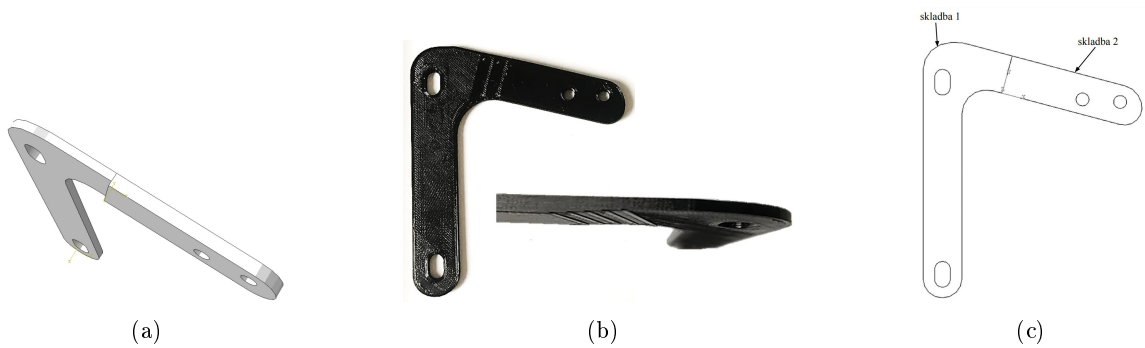
Obr. 22: Rozměry úchytky

Tloušťka jednotlivých vrstev kompozitu při tisku je  $t = 0,125$  mm. Výše zmíněné způsoby tisku vláken byly použity v modelu v software Abaqus (obr. 23). Referenční směr (Ref1) značí vektor, který definuje základní směr natočení vláken v konkrétním souřadnicovém systému. Směr tisku vláken označuje modrá šipka „1“.



Obr. 23: Typy vrstev P (a), 90° (b) a 15° (c)

Konečnoprvkový model umožňoval navrhnout úchytka se dvěma různými tloušťkami (viz obr. 24a). Skladba vrstev může být shodná v obou částech úchytky nebo mohou být v případě potřeby přidány samostatně vrstvy jen do části, která je upnuta k sedlu. V případě tohoto řešení úchytky s rozdílnou tloušťkou by se na tiskárně vytiskly vrstvy, které by nezačínaly na stejném místě, ale tloušťka by se přidávala postupně (obr. 24b ukazuje prototyp takovýchto úchytek vytištěných jen z plastu). Obr. 24c znázorňuje části úchytky s rozdílnou tloušťkou. Do modelu byly parametricky přidány také ostatní komponenty (sedlo a dvě podložky).



Obr. 24: Model úchytky s dvěma různými tloušťkami (a), vytisknutá plastová úchytky s přechodem mezi rozdílnými tloušťkami (b) a oblasti skladby 1 a 2 (c)

#### 4.7 Nalezení skladby vrstev pro variantu zatížení 1

Pro variantu zatížení 1 byly vždy hledány takové skladby vrstev, které splňovaly vybranou pevnostní podmínku. Skladba vrstev v úchytky, která je stejně tlustá ve všech částech, je označena jako skladba 0. Skladba vrstev v úchytky, která má dvě tloušťky, je v tenčí části označena jako skladba 1 a v tlustší části skladba 2 (viz obr. 24c).

V tabulkách (6 - 8) jsou ukázány jednotlivé skladby, pro které platí, že v každém místě v každé vrstvě je splněna podmínka

$$\mathcal{F} < 1. \quad (4.5)$$

Tab. 6: Skladba 0 splňující podmínku  $\mathcal{F} < 1$

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.
o	o	o	o	P	90°	15°	P	90°	90°	P	90°	90°	P	15°	90°	P	o	o	o	o

Tab. 7: Skladba 1 splňující podmínku  $\mathcal{F} < 1$

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.
o	o	o	o	P	90°	15°	P	90°	90°	P	90°	90°	P	15°	90°	P	o	o	o	o

Tab. 8: Skladba 2 splňující podmínku  $\mathcal{F} < 1$

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
o	o	o	o	P	90°	15°	P	90°	90°	P	90°	90°	P	15°	90°
17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.
P	o	o	o	o	o	15°	90°	90°	15°	90°	90°	15°	o	o	o

V tabulkách (9 - 11) jsou ukázány jednotlivé skladby, pro které platí, že v každém místě v každé vrstvě je splněna podmínka

$$\mathcal{F} < 0,75. \quad (4.6)$$

Tab. 9: Skladba 0 splňující podmínku  $\mathcal{F} < 0,75$

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.
o	o	o	o	P	15°	P	15°	15°	90°	90°	P	90°	90°	15°	15°	P	15°	P	o	o	o	o

Tab. 10: Skladba 1 splňující podmínku  $\mathcal{F} < 0,75$

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.												
o	o	o	o	P	15°	P	15°	15°	90°	90°	P	90°	90°	15°	15°	P												
<table border="1"> <tr> <td>18.</td><td>19.</td><td>20.</td><td>21.</td><td>22.</td><td>23.</td> </tr> <tr> <td>15°</td><td>P</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td> </tr> </table>																	18.	19.	20.	21.	22.	23.	15°	P	o	o	o	o
18.	19.	20.	21.	22.	23.																							
15°	P	o	o	o	o																							

Tab. 11: Skladba 2 splňující podmínku  $\mathcal{F} < 0,75$

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
o	o	o	o	P	15°	P	15°	15°	90°	90°	P	90°	90°	15°	15°	P
18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.	34.
15°	P	o	o	o	o	15°	90°	90°	15°	90°	90°	15°	o	o	o	o

A v tabulkách (12 - 14) jsou ukázány jednotlivé skladby, pro které platí, že v každém místě v každé vrstvě je splněna podmínka

$$\mathcal{F} < 0,5. \tag{4.7}$$

Tab. 12: Skladba 0 splňující podmínku  $\mathcal{F} < 0,5$

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.																								
o	o	o	o	P	90°	15°	P	90°	15°	P	90°	90°	P	90°																								
<table border="1"> <tr> <td>16.</td><td>17.</td><td>18.</td><td>19.</td><td>20.</td><td>21.</td><td>22.</td><td>23.</td><td>24.</td><td>25.</td><td>26.</td><td>27.</td> </tr> <tr> <td>90°</td><td>P</td><td>15°</td><td>90°</td><td>P</td><td>15°</td><td>90°</td><td>P</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td> </tr> </table>															16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	90°	P	15°	90°	P	15°	90°	P	o	o	o	o
16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.																											
90°	P	15°	90°	P	15°	90°	P	o	o	o	o																											

Tab. 13: Skladba 1 splňující podmínku  $\mathcal{F} < 0,5$

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.																
o	o	o	o	P	90°	15°	P	90°	15°	P	90°	90°	P	90°	90°	P	15°	90°																
<table border="1"> <tr> <td>20.</td><td>21.</td><td>22.</td><td>23.</td><td>24.</td><td>25.</td><td>26.</td><td>27.</td> </tr> <tr> <td>P</td><td>15°</td><td>90°</td><td>90°</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td> </tr> </table>																			20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	P	15°	90°	90°	o	o	o	o
20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.																											
P	15°	90°	90°	o	o	o	o																											

Tab. 14: Skladba 2 splňující podmínku  $\mathcal{F} < 0,5$

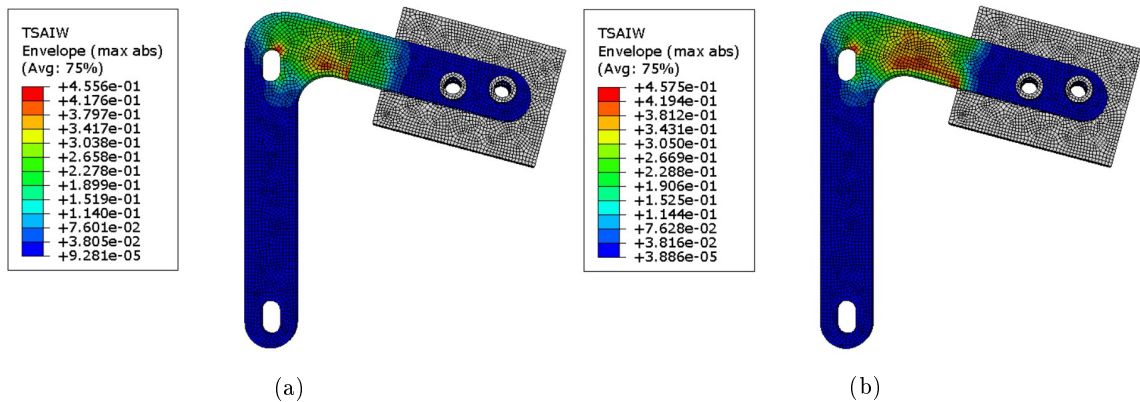
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.
o	o	o	o	P	90°	15°	P	90°	15°	P	90°	90°	P	90°	90°	P	15°	90°
20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.	34.	35.	36.	37.	38.
P	15°	90°	90°	o	o	o	o	15°	90°	90°	15°	90°	90°	15°	o	o	o	o

V tab. 15 jsou porovnány výsledky dle příslušné pevnostní podmínky. Je zde uvedena poloha a hodnota maximálního indexu porušení a objem úchytky. Je zřejmé, že čím vyšší index porušení je použit pro dimenzování součásti, tím lze použít méně materiálu, a proto je i menší objem součásti.

Tab. 15: Porovnání výsledných hodnot

skladba	$\mathcal{F} < 1$		$\mathcal{F} < 0,75$		$\mathcal{F} < 0,5$	
	1/2	0	1/2	0	1/2	0
index porušení	0,9648	0,9552	0,7437	0,747	0,4556	0,4575
poloha max. porušení	za sedlem	za sedlem	horní otvor	horní otvor	horní otvor	horní otvor
počet vrstev ve skladbě	21/32	21	23/34	23	27/38	27
tloušťka skladby [mm]	2.625/4	2.625/2.625	2.875/4.25	2.875/2.875	3,375/4.75	3,375/3,375
objem úchytky [m <sup>3</sup> ]	7.26e-06	6.24e-06	7.85e-06	6.84e-06	9.04e-06	8.02e-06

Pro výrobu prototypu úchytky, která pevnostně vyhoví vůči variantě zatížení 1, byla použita varianta skladby vrstev 0, která vyhoví pevnostní podmínce  $\mathcal{F} < 0,5$ .



Obr. 25: Ukázka rozložení maxima indexu porušení Tsai-Wu pro varianty úchytky, které vyhověly podmínce  $\mathcal{F} < 0,5$ . Vlevo varianta se dvěma tloušťkami (a) a vpravo varianta, kdy je tloušťka po celém objemu úchytky stejná (b)

#### 4.8 Nalezená skladba vrstev pro variantu zatížení 2

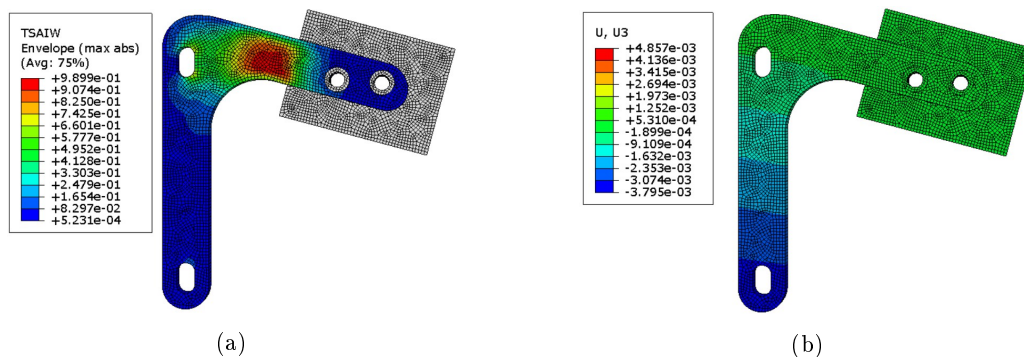
V případě druhé varianty zatížení, která simuluje zatížení při zasouvání lahve do košíku bylo stanoveno navíc omezení pro ohyb úchytky  $u_z$  ve směru  $z$

$$u_z < 4 \text{ mm.} \quad (4.8)$$

Z důvodu řešení tuhostní úlohy měla úchytka mírně upravený tvar. Ke splnění podmínky došlo při použití 53 vrstev po celém objemu úchytky. Tloušťka úchytky je 6,625 mm a posuv ve směru  $z$   $u_z = 3,8$  mm (obr. 26b).

Tab. 16: Skladba vrstev pro variantu zatížení 2

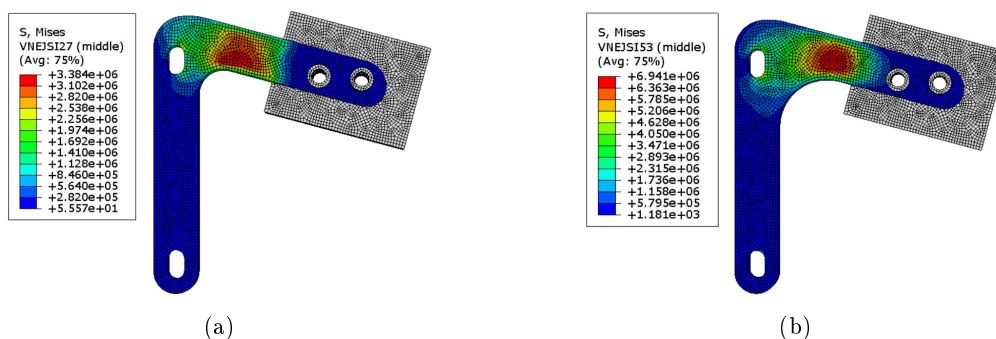
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	
o	o	o	o	P	P	P	P	P	P	45°	P	90°	45°	P	90°	15°	P	90°	
20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.	34.	35.	36.	37.	38.	
P	90°	15°	P	90°	90°	P	P	P	P	90°	90°	P	15°	90°	P	90°	P	15°	90°
			39.	40.	41.	42.	43.	44.	45.	46.	47.	48.	49.	50.	51.	52.	53.		
			P	15°	90°	P	15°	P	P	P	P	P	P	o	o	o	o		



Obr. 26: Prostorové rozložení maxima indexu porušení podle kritéria porušení Tsai-Wu pro variantu zatížení 2 (a) a posuv (ohyb) ve směru osy  $z$  (b)

#### 4.9 Posouzení pevnosti vrstev z Onyx

Také bylo nutné pevnostně posoudit povrchové vrstvy, které obsahují jen matici z materiálu Onyx. Pro posouzení pevnosti vrstev z materiálu Onyx, tedy prvních a posledních čtyř vrstev, bylo použito maximum Von Misesova napětí ze vztahu (2.7). Dovolené napětí bylo položeno pevnosti nalezené v materiálovém listu pro materiál Onyx, a to  $\sigma_D = 36$  MPa. Pevnost matrice nebyla v modelu nikdy dosazena. V praktickém použití je potom mnohem kritičtější zarývání šroubů a podložek do tohoto materiálu.



Obr. 27: Prostorové rozložení Von Misesova napětí ve svrchní vrstvě pro vyrobené verze úchytek pro variantu zatížení 1 (a) a 2 (b)

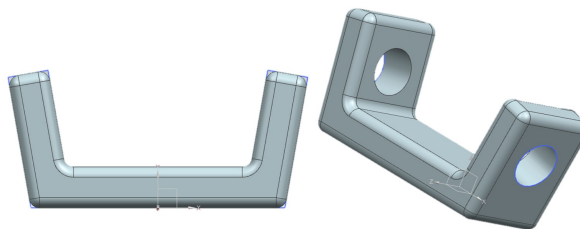


#### 4.10 Výroba a ověření

Jak již bylo zmíněno, pro výrobu úchytky zatížené variantou 1 se použil typ z obr. 25b se skladbou z tab. 12. Tato varianta je na obr. 28. Předpokládaná hmotnost před tiskem byla softwarem pro tisk spočtena na 10,19 g. Skutečná hmotnost obou vytisknutých úchytek byla téměř totožná, 9,397 a 9,411 g. Sečtením obou hmotností a porovnáním s hmotností hliníkového držáku Fi'zi:k (obr. 15) je hmotnost úchytek zhruba o 40 g nižší. Výhodou hliníkového držáku je kompaktní tvar, který nepodléhá ohybovému momentu. Oproti tomu úchytky s přimontovanými košíky s naplněnými lahvemi se vlivem předpokládané síly nutné pro zasunutí lahve do košíku zkroutí. Po odstranění šroubů jsou také znatelné rýhy na povrchu od podložek. Problém kroucení bylo zvažováno řešit dvěma způsoby. Buď spojením obou úchytek pomocí plastových mostíků (obr. 29) v místech přišroubování košíků, nebo navržením úchytek, které obstojí vůči zatížení typu 2 jak pevnostně, tak i tuhostně (omezení na maximální ohyb). Vybraná byla nakonec varianta tlustší úchytky a tomu je věnována další část kapitoly.



Obr. 28: Vytisknuté úchytky var. 1



Obr. 29: Plastové mostíky

Na obr. 30 jsou vytisknuté úchytky varianty zatížení 2. Hmotnost jedné úchytky je 17,41 g a společně jsou 1,5× lehčí než hliníkový držák Fi'zi:k. To je přibližně 67% hmotnosti držáku Fi'zi:k. Oproti tomu tloušťka úchytky je 6,625 mm, což je v porovnání s tloušťkou držáku, která je 2,8 mm, značný rozdíl. Úchytky s těmito rozměry jsou funkční, nicméně jejich hmotnost je již porovnatelná s hmotností hliníkové originální verze.

Z cenového hlediska je použití kompozitu výrazně dražší než použití konvenčního materiálu. Konkrétně se cena hliníkového držáku pohybuje do 500 Kč, kdežto materiál potřebný na tisk obou kompozitních úchytek vyšel odhadem na 4000 Kč a k tomu nezapočtená cena tisku.



Obr. 30: Vytisknuté úchytky var. 2

## 5 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem kompozitních úchytek pro košíky na lahve za triatlonové sedlo značky Fi'zi:k, které bude možné vytisknout z kompozitu na 3D tiskárně. Cílem práce bylo navrhnout nejlehčí možné řešení, jež vyhoví pevnostním a funkčním požadavkům.

V úvodu práce je nastíněno využití kompozitních materiálů v cyklistickém odvětví. Byla provedena rešerše dostupného upínacího příslušenství na kolo a zjištěn fakt, že takovéto adaptéry nevyužívají kompozitů. Následuje kapitola pojednávající o technologii 3D tisku z kompozitů, jeho rozšíření a využití v cyklistice.

V rámci samotného jádra bakalářské práce byly nejprve stanoveny materiálové parametry kompozitního materiálu. To bylo provedeno analýzou tahových a tlakových zkoušek vzorku vytištěných ze stejného materiálu, který byl následně použit pro výrobu úchytek. Přímo z experimentu nebylo možné určit všechny materiálové parametry, smykový modul a smyková pevnost byly identifikovány za pomoci konečnoprvkového modelu vytvořeného v systému Abaqus.

Úchytka byla navržena s tak jednoduchým tvarem, jak jen bylo možné a s myšlenkou schování lahví co nejvíce za cyklistova záda. Poloha otvorů pro šrouby k přidělení košíků a k sedlu byla vždy odzkoušena na prototypch vytištěných z čistého plastu.

Pro návrh byly použity dvě zatěžovací varianty. Model byl sestaven pomocí jazyka Python pro software Abaqus, k pevnostnímu posouzení bylo použito kritérium Tsai-Wu. Vždy byla hledána skladba vrstev taková, kterou bylo možné vytisknout na 3D tiskárně a která vyhověla jak pevnostní, tak případně i tuhostní podmínce.

Druhá varianta úchytky, která vytištěná váží cca 18 g, byla již vyhovující z hlediska ostatních vlastností než jen pevnosti. Nicméně je nutné podotknout, že dvě takové úchytky dosahují již 67% hmotnosti v současnosti používaného držáku od firmy Fi'zi:k.

Cíle práce bylo dosaženo, byly vyrobeny funkční a použitelné úchytky s nižší hmotností než současné řešení. Nicméně současný držák vykazuje ještě větší tuhost, jeho hmotnost není o tolik větší, má navíc několik přidaných hodnot (možnost uchycení bombičky a rezervy) a cena hliníkové verze je nesrovnatelně nižší. Odhadem je cena hliníkového držáku do 500 Kč a cena kompozitních úchytek  $2 \times 2000$  Kč bez započtené ceny za obsluhu tisku.

Úchytka z kompozitu lze jistě navrhnout jako v podstatě sendvičový materiál i navzdory nešikovným možnostem preprocesoru pro tisk (první a poslední čtyři vrstvy musejí být jen matrice). Jistě lze úchytky navrhnout i s tuhostně vhodnějším a vzhledově elegantnějším tvarem a dosáhnout tak ještě lepších vlastností, nicméně ekonomická stránka věci bude stále na straně hliníkové verze.

## 6 Reference

### Reference

- [1] BAREŠ, Richard. *KNIHA O KOMPOZITNÍCH MATERIÁLECH: Kompozitní materiály*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988.
- [2] The Engineering Toolbox. Young's Modulus, Tensile Strength and Yield Strength Values for some Materials.[online]. 2022. [cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: [https://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d\\_417.html](https://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417.html)
- [3] Hustoty látek. *Wikipedia: the free encyclopedia*[online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2021 [cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hustoty%C3%A1tek>
- [4] VRBKA, DRSC., Prof. RNDr. Ing. Jan. *MECHANIKA KOMPOZITŮ*. [online]. Brno, 2008 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:  
Projekt inovace VŠ oborů strojního zaměření. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [5] Kolo.cz. Rady / Vybíráme kolo. Jaký rám by mělo mít vaše kolo? [online]. Cycling Media s.r.o., 2011 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:  
<https://kolo.cz/clanek/jaky-ram-by-melo-mit-vase-kolo/kategorie/rady-vybirame-kolo/rubrika/rady>
- [6] Sport v okolí.cz. Češi - národ velkých cyklistů a cykloturistů. *Martin Záruba*[online]. 03. 04. 2017 [cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: <https://www.sportvokoli.cz/novinky/cesi-narod-cyklistu-a-cykloturistu>
- [7] Štěrba. Rámová alchymie. [online]. [cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: <https://www.sterba-kola.cz/item/ramova-alchymie>
- [8] Welovecycling.com. Váha z dávnověku, sedlo do roviny a ponožky. Proč pravidla cyklistiky spí? *Adam Bouda*[online]. 03. 08. 2020 [cit. 2022-04-01].  
Dostupné z: <https://www.welovecycling.com/cs/2020/08/03/vaha-z-davnoveku-sedlo-do-roviny-a-ponozky-proc-pravidla-cyklistiky-spi/>
- [9] Beautiful life. 10 WORLD'S MOST EXPENSIVE BICYCLES.[online]. 2009-2022, 27.12.2020 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:  
<https://www.beautifullife.info/automotive-design/most-expensive-bicycles-in-the-world/>
- [10] Kolo.cz. Rady / Vybíráme kolo. Potřebujete na kole karbonový rám? [online]. Cycling Media s.r.o., 2011 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:  
<https://kolo.cz/clanek/potrebuje-na-kole-karbonovy-ram/kategorie/rady-vybirame-kolo>
- [11] Velocite-bikes. Carbon Fiber[online]. Velocite BVBA, 2020, [cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: [https://www.velocite-bikes.com/?page\\_id=17](https://www.velocite-bikes.com/?page_id=17)

- [12] AGARWAL B. D., BROUTMAN L. J. *Vláknové kompozity*. SNTL, 1987.
- [13] ČAPEK, Jan. *Návrh a analýza rámu horského kola z uhlíkového kompozitu*. Praha, 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [14] Velocite-bikes. Frame Design[online]. Velocite BVBA, 2020, [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: [https://www.velocite-bikes.com/?page\\_id=100](https://www.velocite-bikes.com/?page_id=100)
- [15] Autodesk. Custom 3D Printed Carbon Fiber Bike Frame.[online]. 2022 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/Custom-3D-Printed-Carbon-Fiber-Bike-Frame/>
- [16] SMALLMAN R.E., NGAN A.H.W. *Physical Metallurgy and Advanced Materials: Bicycles*. 7. vyd. Burlington: Elsevier, 2007. ISBN 978-008-0552-866.
- [17] Decathlon. Karbonový držák na láhev 900. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z: [https://www.decathlon.cz/p/kompozitni-drzak-na-lahve-900/R-p-991?mc=8556867&gclid=CjwKCAjwxOCRBhA8EiwA0X8hi2jHf48CcJxn9KoJWQ-sx8b4vg4ySbrdEy8ETqsZDqVvYFrxwQhk4BoCCXwQAvD\\_EwE](https://www.decathlon.cz/p/kompozitni-drzak-na-lahve-900/R-p-991?mc=8556867&gclid=CjwKCAjwxOCRBhA8EiwA0X8hi2jHf48CcJxn9KoJWQ-sx8b4vg4ySbrdEy8ETqsZDqVvYFrxwQhk4BoCCXwQAvD_EwE)
- [18] Kupkolo.cz. Košík na lahev Tacx RADAR, kompozit. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z: [https://www.kupkolo.cz/kosik-na-lahve-tacx-radar-kompozit\\_115087/](https://www.kupkolo.cz/kosik-na-lahve-tacx-radar-kompozit_115087/)
- [19] Exisport. Cyklistický košík na lahev kross bottle cage grid. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.exisport.cz/kosiky-na-lahve/53500-cyklisticky-kosik-na-lahve-kross-bottle-cage-grid-5904993309209.html>
- [20] Pronett XJ3707 Držák na láhev na kolo color. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.darekvakci.cz/pronett-xj3707-drzak-na-lahve-na-kolo-stribrny>
- [21] Walmart. Lanhui Bike Accessories Gradient Colorful Aluminum Alloy Bicycle Bottle Cage Riding Accessories. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.walmart.com/ip/Lanhui-Bike-Accessories-Gradient-Colorful-Aluminum-Alloy-Bicycle-Bottle-Cage-Riding-Accessories-Sports-Outdoors-Bikes-Parts/392191276>
- [22] Kellys Sidewinder. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.zbozi.cz/vyrobek/kellys-sidewinder/?varianta=cerny>
- [23] Fidlock. About FIDLOCK: home of the innovative magnetic fasteners with a mechanical lock. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.fidlock.com/en/about-fidlock#fidlockconcept>
- [24] Koloshop.cz. Prologo U-Cage držák do sedla na 2 košíky. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.koloshop.cz/kosiky-a-lahve-prislusenstvi/Prologo-U-Cage-drzak-do-sedla-na-2-kosiky.html>
- [25] Newbike.cz. Držák (adaptér) košíku na láhev na řídítka PRO-T UNI 46. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.newbike.cz/drzak-adapter-kosiku-na-lahve-na-riditka-pro-t-uni-46/d12588>

- [26] Fidlock Bottle Twist 450 Set + Uni Base. [online].[cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: <https://www.snowboard-zezula.cz/fidlock-bottle-twist-450-set-uni-base-dark/pn-121625>
- [27] Decathlon. Univerzální adaptér na držák na láhev Anywhere. [online].[cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: <https://www.decathlon.cz/p/univerzalni-adaptér-na-držák-na-láhev-anywhere/R-p-X8748971>
- [28] Mall.cz. RaceOne JEKO XL úchyt košíku na láhev. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z:  
<https://www.mall.cz/lahve-kosiky-kolo/raceone-jeko-xl-uchyt-kosiku-na-láhev-100049344747>
- [29] BB cyklo sport. Držák SKS košíku na láhev. [online].[cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: <https://www.kola-online.cz/držák-sks-kosiku-na-láhev/d23622>
- [30] Bike-eshop.cz. TOPEAk variabilní uchycení pro košík VERSAMOUNT. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z:  
<https://www.bike-eshop.cz/lahve-a-kosiky/topeak-variabilni-uchyceni-pro-kosik-versamount>
- [31] Wiggle. Lezyne Flow Bottle Cage Storage Adaptor. [online].[cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: <https://www.wiggle.com/lezyne-flow-bottle-cage-storage-adaptor>
- [32] TOPEAK Tri-Backup Pro I Bottle Cage Mount. [online].[cit. 2022-04-05]. Dostupné z:  
<https://www.amazon.sg/TOPEAK-Tri-Backup-Bottle-Mount-Black/dp/B01NB1MXV0>
- [33] Topeak Tri-Cage. [online].[cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: <https://www.dviraciusalonas.lt/topeak-tri-cage-gertuves-laikiklis-padangu-lopeteles.html>
- [34] ELITE SKEKANE Rear Mount System. [online].[cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: <https://www.warelarr.top/ProductDetail.aspx?iid=106955243&pr=73.88>
- [35] TOPEAK Ninja Master Series. [online].[cit. 2022-04-05].  
Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=1jQyA2tOWkg&t=1s&ab\\_channel=TopeakCycling](https://www.youtube.com/watch?v=1jQyA2tOWkg&t=1s&ab_channel=TopeakCycling)
- [36] Bikerumor. 2021 Canyon Speedmax CFR TT is all-new, UCI-approved for time trials w/ Zipp cockpit. [online]. Cory Benson, 2022, 5.5.2021[cit. 2022-04-03].  
Dostupné z: <https://bikerumor.com/2021-canyon-speedmax-cfr-tt-is-all-new-uci-approved-for-time-trials-w-zipp-cockpit/>
- [37] AEROGEEKS. 2019 SPECIALIZED S-WORKS SHIV DISC. [online]. 2022, 9.10.2018 [cit. 2022-04-03].  
Dostupné z: <http://aerogeeks.com/2018/10/09/2019-specialized-s-works-shiv-disc-full-first-look/>
- [38] EDWARDS Chris, Fionn RUDER, Joseph HURLEY, Micah THOMAS a Mitch SPINELLI *3D Printed Carbon Fiber Electric Mountain Bike Frame*. [online]. California, 2018 [cit. 2022-04-05].  
Dostupné z:

- [https://scholarcommons.scu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1082&context=mech\\_senior](https://scholarcommons.scu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1082&context=mech_senior). Mechanical Engineering senior thesis. SANTA CLARA UNIVERSITY, Department of Mechanical Engineering.
- [39] S. M. Fijul Kabir, Kavita Mathur, Abdel-Fattah M. Seyam. *A critical review on 3D printed continuous fiber-reinforced composites*. 2019
- [40] 3Dnatives. Meeting with Arevo and hearing about their 3D printed bike[online]. 27.8.2018 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/arevo-3d-printed-bike270820184/>
- [41] 3Dnatives. Arevo and Superstrata present 3D printed unibody carbon fiber bikes[online]. 15.7.2020 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/arevo-superstrata-3d-printed-unibody-bikes-150720205/#!>
- [42] 3Dnatives. The list of bicycles made with 3D printing technologies[online]. 22.9.2020 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/ranking-3d-printed-bikes-220920204/#!>
- [43] 3Dnatives. Specialized on the benefits of 3D printing for bike saddle production[online]. 13.8.2020 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-bike-saddle-specialized-interview-130820205/>
- [44] Běhej srdcem. Posedla. Český tech startup vyrábějící cyklistické komponenty na míru s využitím 3D tisku *Martin Roman* [online]. 17. 3. 2022 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://behejsrdcem.cz/clanky/posedla-cesky-tech-startup-vyrabejici-cyklisticke-komponenty-na-miru-s-vyuzitim-3d-tisku/>
- [45] CHEN Hongrui, Alec REDMANN, Rui ZHANG, Sue MECHAM a Tim A. Osswald. *3D PRINTED HYBRID COMPOSITE STRUCTURES – DESIGN AND OPTIMIZATION OF A BIKE SADDLE* [online]. Madison, USA, 2020 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Alec-Redmann/publication/340610397\\_3D\\_Printed\\_Hybrid\\_Composite\\_Structures](https://www.researchgate.net/profile/Alec-Redmann/publication/340610397_3D_Printed_Hybrid_Composite_Structures)  
Annual Technical Conference. Polymer Engineering Center, University of Wisconsin.
- [46] LAŠ, Vladislav. *Mechanika kompozitních materiálů*. 1. vyd. Západočeská univerzita, 2004, 154 s. ISBN 80-7043-273-x.
- [47] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [48] Kompozity - Doc. Ing. Zdeněk Kořínek, CSc.[online]. 2016 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://kompozity.webnode.cz/>
- [49] KOČÍB, Jan. *Analýza vlivu mletí recyklovaných uhlíkových vláken na mechanické vlastnosti epoxidových kompozitů*. Liberec, 2018. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní.

- [50] Velochampion. Double Water Bottle Cage Mount - Alloy Black for Cycling Triathlon Bike[online]. 2022 [cit. 2022-04-05].Dostupné z:  
<https://www.velochampion.cc/products/double-cage-mount>
- [51] Topeak.TRI-BACKUP® PRO I.[online]. [cit. 2022-04-05].Dostupné z:  
<https://www.topeak.com/global/en/products/290-TRI-BackUp-Series/1001-TRI-BACKUP-PRO-I>
- [52] Bikeradar. Fi'zik 2014 handlebars, saddles and shoes – Eurobike 2013. *Warren Rossiter*[online]. 28. 8. 2013 [cit. 2022-03-01].Dostupné z:  
<https://www.bikeradar.com/news/fizik-2014-handlebars-saddles-and-shoes-eurobike-2013/>
- [53] Bikeshepher. The Best Bike Water Bottle Holders for 2022. *Patrick Wise*[online]. 2. 5. 2022 [cit. 2022-05-02].Dostupné z:  
<https://www.bikeshepherd.org/best-bike-water-bottle-holders/>
- [54] Fi'zik. MISTICA CARRIAGE KIT.[online]. 2021 [cit. 2022-01-02].Dostupné z:  
[https://www.fizik.com/eu\\_en/mistica-carriage-kit.html](https://www.fizik.com/eu_en/mistica-carriage-kit.html)
- [55] Carbon GmbH. CFC Materiály [online]. [cit. 2022-04-05].Dostupné z:  
<https://cgt-carbon.com/cz/uhlikove-vlakno/cfc-materialy/>