

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2014

BcA. Štěpán Jirka

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

Diplomová práce

DESIGN JEDNOSTOPÉHO ELEKTROVOZIDLA

BcA. Štěpán Jirka

Plzeň 2014

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

Katedra designu

Studijní program Design

Studijní obor Design

Diplomová práce

DESIGN JEDNOSTOPÉHO ELEKTROVOZIDLA

BcA. Štěpán Jirka

Vedoucí práce: doc. ak. soch. František Pelikán

Katedra designu

Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

Západočeské univerzity v Plzni

Plzeň 2014

Prohlašuji, že jsem práci zpracoval samostatně a použil jen uvedených pramenů a literatury.

Plzeň, duben 2014

.....

podpis autora

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu své práce doc. ak. soch. Františku Pelikánovi za způsob, jakým mě vedl při realizaci výtvarného návrhu.

OBSAH

1	MÉ DOSAVADNÍ DÍLO V KONTEXTU SPECIALIZACE	1
2	TÉMA A DŮVOD JEHO VOLBY.....	4
3	CÍL PRÁCE	6
4	PROCES PŘÍPRAVY	8
4.1	Stručná historie jízdního kola.....	8
4.2	Historie elektrokola.....	9
4.3	Současný design.....	10
4.4	Legislativa.....	12
5	PROCES TVORBY	14
5.1	Skici.....	14
5.2	Digitální kresba a malba.....	15
5.3	Výběr finální varianty	17
5.3.1	<i>Tape drawing.....</i>	<i>18</i>
5.4	3D model.....	19
5.5	Prezentační model.....	21
5.5.1	<i>Vakuové laminování.....</i>	<i>21</i>
5.5.2	<i>Vakuové tvarování termoplastů.....</i>	<i>22</i>
5.5.3	<i>CNC frézování.....</i>	<i>23</i>
5.5.4	<i>3D tisk.....</i>	<i>24</i>

5.5.5	<i>Povrchová úprava</i>	24
5.5.6	<i>Barvení</i>	25
5.5.7	<i>Detaily</i>	25
6	TECHNOLOGICKÁ SPECIFIKA	27
6.1	Motor	27
6.1.1	<i>Motor v náboji</i>	27
6.1.2	<i>Motor uprostřed</i>	29
6.2	Baterie	30
6.3	Ostatní komponenty	31
6.4	Materiál	31
6.4.1	<i>Ocel</i>	32
6.4.2	<i>Hliníkové slitiny</i>	32
6.4.3	<i>Titan</i>	33
6.4.4	<i>Kompozitní materiály</i>	33
6.4.5	<i>Přírodní materiály</i>	35
7	POPIS DÍLA	36
8	PŘÍNOS PRÁCE PRO DANÝ OBOR	37
9	SILNÉ STRÁNKY	39
10	SLABÉ STRÁNKY	40
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41

11.1	Knižní a periodická literatura.....	41
11.2	Internetové zdroje	42
12	RESUMÉ (EN).....	43
13	SEZNAM PŘÍLOH	45

1 MÉ DOSAVADNÍ DÍLO V KONTEXTU SPECIALIZACE

Když se ohlédnu zpět, vidím, že už moje záliby v dětství předznamenávaly, že se budu zabývat právě designem. Ačkoli jsem studoval jazykovou školu a následně osmileté gymnázium s humanitním zaměřením, ve volném čase jsem se věnoval především tvůrčím činnostem: kresbě, malbě, keramice, práci se dřevem, elektrotechnice a programování webových stránek a aplikací.

Když jsem se rozhodoval, čím se budu zabývat na vysoké škole, design se ukázal být oborem, ve kterém mohu spojit všechny své dovednosti. Díky designu se mohu stejnou měrou věnovat práci s nejrůznějšími materiály a zároveň využívat moderní digitální technologie. Jako jeden z mála oborů mi také umožňuje spojit tvůrčí nadšení a racionálně kritické myšlení.

Během bakalářského studia na Ústavu umění a designu Západočeské univerzity v Plzni jsem měl možnost se mimo čistě teoretických návrhů podílet například na designu a konstrukci univerzitní formule SAE¹ pro UWB Racing Team Pilsen. Kromě samotného návrhu jsem se účastnil výroby modelu ve skutečné velikosti, forem a kompozitních dílů pro karosování formule. Během tohoto projektu jsem

¹ Society of Automotive Engineers

se přesvědčil, jak obohacující a zároveň náročná může být spolupráce s technickými obory.

V zimním semestru závěrečného ročníku jsem díky programu individuální mobility studentů Free Movers absolvoval stáž u Doc. Ing. Štefana Kleina, akad. soch. v ateliéru transport design na Vysoké škole výtvarných umění v Bratislavě. Během stáže jsem zpracovával téma „2030“ na základně konzultací s designery Borisem Grellem a Tomaszem Bachorskim ze studia interiérového designu automobilky Volkswagen. Na toto téma jsem navázal ve své bakalářské práci, ve které jsem se věnoval designu interiéru osobního automobilu.

Při výběru magisterského oboru jsem se rozhodl nastoupit do ateliéru keramického designu na Ústavu umění a designu Západočeské univerzity v Plzni. Na rozdíl od designu dopravních prostředků mi tento obor umožnil projekty skutečně realizovat a především mě naučil při navrhování více zohledňovat použité materiály a technologii výroby. Z prací, které jsem v tomto atelieru vytvořil, stojí za zmínku především návrh koupelnového setu do malé koupelny na základě zadání od firmy Jika. Tento návrh získal ocenění Dobrý studentský design a Cenu novinářů v soutěži Národní cena za studentský design 2012. Se stejným projektem jsem byl rovněž nominován na cenu Czech Grand Design 2012 v kategorii Objev roku.

Akreditace ateliéru byla v roce 2012 změněna na obor Sochařství, specializace Keramika. Z tohoto důvodu jsem v akademickém roce 2012/2013 přešel na nově otevřený obor Design. V průběhu magisterského studia jsem se zaměřil na to, aby estetická stránka mých návrhů vycházela zejména z konstrukčního řešení samotných výrobků. Výsledkem mého snažení bylo v roce 2013 získání stipendia města Plzně za vítězství v soutěžích na návrh designu žárového děla pro firmu Flame Spray Technologies, horkovzdušných kamen pro Šimek group a Umělecké ceny města Plzně.

V současnosti se kromě školních prací podílím například na vývoji komunikátoru pro hluchoslepé PALM. Od začátku studia designu se rovněž velmi intenzivně zabývám prací v softwarech pro 3D modelování a renderování. Díky tomu se v posledních dvou letech příležitostně věnuji také výuce modelování v programu Autodesk Alias prostřednictvím firmy AJW Graph.

2 TÉMA A DŮVOD JEHO VOLBY

Přestože nejsem zapálený cyklista ani nadšenec do motorek nebo scooterů, rozhodl jsem se po přechozí zkušenosti s navrhováním elektrokola v prvním ročníku magisterského studia tomuto tématu věnovat svou diplomovou práci. Nabídka sice obsahovala i zadání „Jednostopé elektrovozidlo – scooter“, rozhodl jsem se však pro individuální téma. V případě elektrovozidel může být velmi tenká hranice mezi jednotlivými kategoriemi a změnou zadání na „Jednostopé elektrovozidlo“ jsem si zajistil možnost svobodnější volby v průběhu navrhování.

Velké dopravní prostředky nejsou mým nejoblíbenějším tématem. Myslím si, že se design v tomto odvětví neposouvá nejrychlejším tempem a omezuje se především na styling nebo jde naopak o teoretické studie založené často na fiktivních nebo velmi nákladných technologiích, materiálech a pohonech. V případě menších dopravních prostředků je mnohem více kladen důraz na tvarové řešení vyplývající ze specifické konstrukce a funkcí vozidla. Výroba jednostopých vozidel není tak komplikovaná a nákladná, což umožňuje snazší realizaci a ověření těchto návrhů v praxi.

Ačkoli nejsou dopravní prostředky z elektrickým pohonem příliš rozšířené, v současnosti se již na trhu objevují cenově dostupné a kompaktní motory a bateriové články, které kromě výkonu zaručují také rozumný dojezd. Není proto divu, že jejich popularita roste a jsou do nich vkládány velké naděje, zejména co se týče individuální přepravy ve městech. Jejich poměrně vysokou pořizovací cenu vyvažují zejména velmi nízké provozní náklady. Často opomíjenou předností dopravních prostředků s elektrickým pohonem je jejich minimální hlučnost.

3 CÍL PRÁCE

Když jsem na začátku uvažoval o vytvoření alternativního konceptu elektrovozidla, ukázalo se, že zejména v oblasti jednoštopých dopravní prostředků nemá klasické jízdní kolo konkurenci. Proto jsem se rozhodl, že se ve své diplomové práci budu zabývat právě elektrokolem.

Na rozdíl od běžného jízdního kola se však potýká hned s několika problémy, které brání jeho většímu rozšíření. Jedním, a do značné míry zásadním problémem je pochopitelně cena. Drtivá většina elektrokol vzniká přestavbou těch standartních. Cena elektromotoru, baterie a řídicí jednotky nezřídka převyšuje cenu všeho ostatního. Je mi jasné, že není v moci designéra, aby snížil náklady na elektrifikaci kola a tím i celkovou cenu. Mým cílem je proto vytvořit design, který by potenciálního zákazníka přesvědčil o tom, že zdánlivě vysoká cena je v tomto případě naprosto opodstatněná.

Další překážku představují samotní uživatelé. Jak mezi ortodoxními, tak mezi rekreačními cyklisty i lidmi, kteří kolo využívají k přepravě ve městě, se hojně vyskytuje názor, že kolo s elektrickým pohonem je výsadou líných lidí a seniorů. Jeho nespornou výhodou je vyšší rychlost při stejné námaze a tím pádem i rychlejší přesun z místa na místo. Na rozdíl od scooteru nebo motorky není zcela závislé na elektrické

energii a je možné ho bez problému použít i v případě vybitých baterií. Ve srovnání s hromadnou dopravou si zachovává individualitu a spontaneitu běžného jízdního kola. Proto si myslím, že jde o dopravní prostředek, který by při zvolení správné formy dokázal oslovit i mladší generaci a lidi s aktivním životním stylem.

4 PROCES PŘÍPRAVY

4.1 Stručná historie jízdního kola

Navzdory jednoduchosti konstrukce spadají prokazatelné počátky jízdního kola až do 19. století. První návrh z roku 1817 patřil německému baronu Karlu von Draisovi, který si jej v roce 1818 nechal patentovat (viz Příloha 1). Jednalo se o první komerčně úspěšný jednostopý dopravní prostředek poháněný lidskou silou. Velociped, jak byl běžně tento prostředek označován, fungoval na principu odrážedla.

Až v roce 1862 Francouz Pierre Lallement sestrojil kolo poháněné pedály (viz Příloha 2). O rok později jej představil veřejnosti. Jeho konstrukce se výrazně nelišila od Draisova velocipedu. Pedály byly v té době ještě pevně spojené s předním kolem a pohodlnější jízdu zajišťovalo odpružené sedlo.

Až do poloviny 80. let měla typická jízdní kola vzadu malý průměr ráfku a vpředu velké kolo s pevně připojenými pedály (viz Příloha 3). V závislosti na výšce jezdce mohlo mít přední kolo průměr až 1,5m. V roce 1888 vynalezl John Dunlop vzduchem plněné pneumatiky, které ve spojení s pohonem zadního kola pomocí řetězu daly vzniknout jízdnímu kolu v podobě, v jaké ho známe dnes.

4.2 Historie elektrokola

Elektrokola se prvně objevují až koncem 19. století. Ogden Bolton ml. si nechal v roce 1895 patentovat stroj poháněný elektromotorem v náboji zadního kola (viz Příloha 4). Motor byl napájený 10 voltovou baterií zavěšenou v rámu. Zajímavé je, že i po více než 100 letech je umístění motoru v zadním kole nejpopulárnějším řešením kola s elektrickým pohonem.

O dva roky později se objevuje první elektrokolo s motorem uprostřed (viz Příloha 5). Návrh Hosea W. Libbeyho byl poháněný dvěma motory, napájen dvěma bateriemi a měl dvě blízko sebe umístěná zadní kola. Pohyb byl z motorů na kola přenášen dvěma táhly, podobně jako u parních lokomotiv. Při jízdě na rovině dodávala energii motorům pouze jedna baterie, druhou bylo možné zapojit při jízdě do kopce.

V návrhu Matthewa J. Steffense z roku 1898 se objevuje elektromotor umístěný na sedlové trubce, jehož energie je na zadní kolo přenášena řemenem (viz Příloha 6). Ten je vedený drážkou v pneumatice a díky kontaktu s terénem nedochází k jeho prokluzování.

V následujícím roce si nechal John Schnepf patentovat design, v němž je motor umístěný nad zadním kolem a pohání ho kladkou (viz Příloha 7). Toto jednoduché řešení má mnoho příznivců i v dnešní době. Umožňuje

použití malých levných motorů s vysokými otáčkami při pevnějším například k trubce sedla. Navzdory této přednosti se jedná o řešení používané převážně kutily, u komerčních výrobků nemá velké zastoupení.

4.3 Současný design

V dnešní době se můžeme setkat s dvěma typy designu. Prvním z nich jsou konvenční jízdní kola, jejichž rámy se nijak neliší od těch neelektrifikovaných. Motor je zpravidla umístěn v náboji zadního nebo předního kola. Podle typu rámu a velikosti akumulátoru je baterie nejčastěji umístěna vodorovně na nosiči (viz Příloha 8), svisle za sedlovou trubkou (viz Příloha 9), v košíku na lahev (viz Příloha 10) nebo je zavěšena pod horní rámovou trubku (viz Příloha 11). Tento design představuje cestu nejmenšího odporu, po estetické stránce ale nemá co nabídnout. Z pohledu zákazníka se proto mohou tato kola jevit jako obyčejná a předražená.

Odlišný přístup představuje design navržený přímo pro účel elektrifikace. I v této oblasti můžeme najít některé zástupce konvenční konstrukce. Příkladem jsou minimalistické produkty švýcarské firmy Stromer, u nichž jsou baterie umístěny ve značně předimenzované dolní rámové nebo sedlové trubce (viz Příloha 12 a 13). O tvarově odvážnější a nápaditější řešení se postaraly designcentra předních světových automobilek. Představím zde alespoň ty nejvydařenější.

V roce 2012 představila automobilka Smart elektrokolo s působivým, přesto poměrně konzervativním designem (viz Příloha 14). Vyjímatelná baterie je umístěna uprostřed hliníkového rámu, k jehož modernímu vzhledu přispívá absence sedlové stavby. Jako pohon je zvolena souprava kanadské firmy BionX.

S originálním skládacím elektrokolem přišla automobilka BMW v rámci konceptů hybridních automobilů řady „i“ (viz Příloha 15). Rám je tvořený kombinací uhlíkových vláken a hliníku. Ráfky mají průměr 16“, což je pro „skládačky“ typický rozměr. Zadní kolo pohání 250 wattový motor, který napájí akumulátor umístěný pod sedlem.

Velmi dynamický návrh představila na 82. ženevském autosalonu firma Opel (viz Příloha 16). Tento koncept vznikl ve spolupráci s firmou KISKA, která se mimo jiné podílí na designu motocyklů značky KTM. Baterie tohoto sportovně tvarovaného kola je zavěšená ve spodní rámové trubce a napájí plně vestavěný 250 W motor umístěný ve šlapací ose. Rám má velmi efektně řešené zadní odpružení.

Asi nejpůsobivější je koncept Wörthersee představený v roce 2012 automobilkou AUDI (viz Příloha 17). Jeho přísně tvarovaný karbonový rám má hmotnost pouhých 1600 g a každé z jeho kol 600 g. Navzdory tomu váží celé kolo 21 kg a to zejména díky motoru s extrémním výkonem

2.3 kW a baterii s kapacitou 530 Wh. Velmi originálně je řešené polohování sedla. Z pohledu zákona se vzhledem k parametrům jedná o elektromotorku a její řízení by vyžadovalo odpovídající řidičské oprávnění.

4.4 Legislativa

Zjednodušeně by se dalo říci, že z hlediska legislativy je rozhodujícím faktorem výkon motoru, maximální rychlost a podíl lidské síly.

V USA je maximální povolený výkon 750 W, což může kolo pohánět až do rychlosti 32.2 Km/h. Jeho aktivita není nijak závislá na činnosti pedálů, podmínkou je jen existence pedálů. Aby takový dopravní prostředek spadl do kategorie elektrokol, musí mít méně než 4 kola. Podobné podmínky platí v Kanadě, kde je maximální výkon stanoven na 500 W.

Evropské předpisy jsou v tomto ohledu přísnější a vyžadují, aby motor o maximálním výkonu 250 W asistoval šlapajícímu cyklistovi jen z části. Tento systém se nazývá asistované šlapání, neboli pedelec. Podmínkou také je, aby výkon motoru klesal s rostoucí rychlostí a při dosažení rychlosti 25 km/h musí být jeho podíl na výkonu 0%.

Ve Velké Británii je maximální výkon omezený na 200 W. Činnost motoru není podmíněna spoluúčastí cyklisty, musí ho však být možné manuálně vypnout při dosažení maximální rychlosti 25 km/h.

Také v Asii najdeme značné rozdíly. Zatímco v Číně je výkon motoru omezený na 240 W a maximální rychlost na 20 km/h, v Japonsku není omezený maximální výkon, ale je podmíněný poměrem 1:1 vůči šlapání až do maximální rychlosti 30 km/h.

5 PROCES TVORBY

Na začátku praktické části bylo jako v případě každého designového projektu skicování na papír. Přestože v dnešní době již existují pokročilé technologie rozvíjení designového návrhu (digitální skicování, CAD² modelování a jejich kombinace), jsou tyto nástroje vhodné až pro zpřesnění konečného tvaru a myšlenky. Navzdory pokroku postrádají tyto technologie rychlost a bezprostřednost běžné kresby.

5.1 Skici

Jízdní kolo má ve srovnání s ostatními dopravními prostředky velmi specifickou konstrukci. Ta z něj činí téměř 2D objekt, proto jsem se v úvodní fázi navrhování zaměřil především na volbu vhodné siluety. Již od počátku jsem se snažil vyhnout standartnímu lichoběžníkovému rámu a jeho variantám. Z množství kreseb jsem následně vybral několik návrhů, z nichž některé představovaly spíše efektní řešení, v jiných jsem se snažil doplnit rám o přidanou hodnotu v podobě úložného prostoru umístěného v rámu (viz Příloha 27).

Zejména varianta s úložným prostorem mě zaujala a na rozdíl od čistě stylingových návrhů opodstatňuje zásah do funkcionalistické

² Z angličtiny „computer-aided design“, česky „počítačem podporované projektování“; Computer aided design – Wikipedie [online]. 2013 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Computer_aided_design>.

konstrukce jízdního kola. Zadní nosič kola podle mého názoru nepředstavuje nejvhodnější místo pro přepravu některých příručních zavazadel a zejména elektronických zařízení jako jsou notebooky a tablety. Zvýšení těžiště v případě umístění zavazadel na nosiči nebo v košíku na řídítkách navíc zhoršuje ovladatelnost kola, což může značně ovlivnit bezpečnost jízdy. Vzhledem k tomu, že elektrokola dosahují vyšší rychlosti než běžná jízdní kola a rám je celkově více namáhán, vyhýbal jsem se záměrně použití skládacího rámu, u kterého je vyšší riziko mechanického selhání. Skládací kola jsou obvykle sama o sobě menší než pevné rámy a smysl skládání je proto často velmi sporný a málo využívaný.

Ideové skici jsem dále rozvíjel, řešil jejich varianty a detaily. Tuto část procesu jsem již z velké části prováděl formou digitálního skicování na pasivním tabletu Intuos 4 L.

5.2 Digitální kresba a malba

Na trhu je v současné době hned několik velmi dobrých softwarů zaměřených přímo na digitální kresbu a malbu. Programy jako Autodesk Alias, Autodesk Sketchbook PRO a Autodesk Sketchbook Designer nabízejí některé velmi praktické nástroje pro design, postrádají ale větší variabilitu a nejsou příliš stabilní při práci s velkými soubory. Z tohoto důvodu preferuji pro digitální kresbu Adobe Photoshop CS6, který však

ve srovnání s produkty firmy Autodesk nenabízí některé chytré funkce, jako jsou například šablony, vektorové skicování nebo velmi intuitivní ovládání. Ve všech ostatních směrech však představuje velmi silný nástroj s profesionálním rozhraním, který umožňuje kombinovat kresbu, malbu a fotografie.

V případě digitální kresby postupuji vždy stejným způsobem. V první fázi nakreslím velmi rychlý a hrubý náčrt, který zprůhledním a v další vrstvě kresbu zpřesním. Jako podkladovou vrstvu často používám fotografie existujících kol pro zachycení reálných proporcí. Dalším krokem je vytvoření jednobarevných výplní, které představují základní barevné schéma designu. Tento postup umožňuje v průběhu práce pohodlně měnit barvy návrhu. Obrisy barevných výplní je navíc možné použít jako masku při modelaci objektu světlem a stínem, díky čemuž odpadá přetahování a nutnost výslednou kresbu začišťovat. Pro dosažení velmi realistického výsledku kombinuji tyto techniky s fotkami některých komponentů, jako jsou například kola a brzdy. Zejména v případě bočního pohledu, kde nehraje roli perspektiva, jsou tyto skici při správném provedení k nerozeznání od 3D renderu.

5.3 Výběr finální varianty

Přesnější grafické zpracování a aplikace reálných proporcí mi pomohly lépe určit, jaký výraz je pro můj budoucí design nejvhodnější. V případě prvního návrhu vznikl působivě vyhlížející rám velmi sportovního charakteru, který však vůbec nesplňoval můj původní cíl - dopravní prostředek pro volný čas a přepravu ve městě (viz Příloha 28). Zajímavě však působí kombinace pohledového karbonu s kontrastním lakem krytu baterie. Ačkoli mi i druhý návrh připadal svou konstrukcí zajímavý a inovativní, nepodařilo se mi zachovat jeho lehkost při snaze přepracovat návrh do skutečných proporcí. Tyto dva návrhy jsem z výše uvedených důvodů již dále nerozvíjel.

V případě prvního návrhu s úložným prostorem jsem byl dlouho spokojený s jeho podobou i proporcemi (viz Příloha 29). Rám je tvořený obdélníkem, jehož spodní strana plynule přechází do řetězové stavby kola, sedlová stavba zcela chybí. Vnitřní prostor obdélníku vyplňuje úložný prostor, který je přístupný z obou stran, přičemž zákazník má možnost si zvolit, zda se bude jednat o odnímatelnou brašnu, síťku nebo jiné řešení. Vyjímatelná baterie je umístěna v sedlové trubce, jejíž součástí je zadní světlo. Abych zachoval jednoduchost rámu, ale přesto narušil jeho rovnoběžnost, rozdělil jsem jej diagonálou na 2 poloviny. Část má viditelnou texturu uhlíkových vláken a zbytek je lakovaný.

Druhá varianta tohoto rámu postrádá horní stranu obdélníku (viz Příloha 30). V tomto případě je úložný prostor tvořený košem, který má podobu diagonálního kříže a je přístupný shora. Baterie je umístěna přímo v tomto prostoru. Díky tomu si uživatel může libovolně zvolit velikost akumulátoru a přímo tak ovlivnit dojezdovou vzdálenost.

5.3.1 Tape drawing

Abych proporce posledních dvou návrhů ověřil v reálné velikosti, rozhodl jsem se vytvořit výkres v měřítku 1:1 pomocí černé lepicí pásky (viz Příloha 31). Volně inspirován velikostí kol kategorie BMX, jsem nejprve naznačil na světlou desku 20" kola ve vzdálenosti 1000 mm a následně pomocí čtvercové sítě přenesl charakteristické linie mých návrhů.

Díky tomuto kroku jsem zjistil, že první návrh, jehož rám je tvořeným uzavřeným obdélníkem, je z praktického hlediska zcela nevhodný. Rám s touto geometrií, který by byl schopný do úložného prostoru pojmout notebook o úhlopříčce 15"-17" byl poměrně vysoký, což by znesnadnilo nasedání a sesedání z kola. Tento problém by bylo možné v omezené míře řešit použitím menšího průměru ráfků a tím pádem snížením rámu a změnou jeho sklonu. Zmenšení ráfků by však mělo za následek zhoršení kvality jízdy na nerovném povrchu. Dalším

nedostatkem tohoto designu je umístění baterie v sedlové trubce. V tomto místě není dostatečný prostor pro baterii s větší kapacitou, zároveň je velmi omezena možnost nastavení výšky sedla. V případě absence zadního blatníku by také docházelo k znečišťování baterie, což může značně zneprůjemnit její odjímání.

Varianta rámu s vnitřním košem přístupným shora eliminuje většinu výše zmíněných nedostatků. Kromě větší praktičnosti je tento design také esteticky zajímavější, proto jsem jej zvolil jako svojí finální variantu.

5.4 3D model

Přestože jsem stále ještě kresebně řešil jednotlivé detaily (viz Příloha 32 a 33), začal jsem současně pracovat na 3D modelu. K tomuto účelu používám CAD software Autodesk Alias Automotive, který obsahuje funkce pro přímou a velmi precizní kontrolu tvaru ploch a jejich návazností. V porovnání s jinými CAD programy umožňuje pohodlné modelování velmi dynamických tvarů typických pro polygonové modely, ve srovnání s nimi si však zachovává přesnost NURBS³ ploch.

³ Z angličtiny „Non-uniform rational basis spline“ je matematický model běžně používaný v počítačové grafice pro generování a reprezentování křivek a ploch, které nabízejí velkou flexibilitu a přesnost při manipulaci jak s analytickými tak s volnými tvary; NURBS – Wikipedie [online]. 2013 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/NURBS>>.

Mým prvním krokem bylo vymodelování předního a zadního kola, technických prvků a naznačení rozměrů rámu (viz Příloha 34). Pomocí geometrických objektů jako jsou hranoly a válce jsem si vytvořil velmi hrubý model, který zachycoval základní rozložení hmoty. Společně s digitální kresbou promítnutou na konstrukční rovině, mi tento model sloužil jako hlavní reference pro další modelování a zpřesňování ploch (viz Příloha 35).

Při práci v programu Alias Automotive jsem se snažil, aby mnou vytvořené plochy splňovaly podmínky modelování třídy A. Plochy třídy A se kromě velmi přísných tolerancí vyznačují dokonalými přechody nejen z matematického hlediska, ale především po stránce estetické. Nejvíce se kvalita provedení ploch projeví na komplexních přechodech a prolnutích jednotlivých profilů. V tomto ohledu pro mě byl rozhodující především detail napojení zadní vidlice na zbytek rámu, kde bylo důležité zvolit správné rozložení a orientaci ploch (tzv. patch layout) a ohlídat jejich reflexe (viz Příloha 36).

V případech, kdy jsem si potřeboval ověřit nebo navrhnout tvar některého dílu, jehož modelování by zabralo příliš mnoho času a samotná kresba by mi neposkytla dostatečně konkrétní představu, jsem kombinoval renderovaný náhled z programu Alias Automotive s digitální

kresbou v Adobe Photoshop CS6. Tímto způsobem jsem například řešil varianty napojení přední vidlice a další detaily (viz Příloha 37).

5.5 Prezentací model

Stejně jako v případě práce ve 3D programu, jsem i při výrobě prezentačního modelu v měřítku 1:2 začal nejprve koly.

5.5.1 Vakuové laminování

Pro výplet jsem se rozhodl použít 1mm silný pohledový karbon. Vzhledem k tomu, že jsem měl pro jeho výrobu všechny potřebné materiály a také vzhledem k vysoké ceně již hotových polotovarů, rozhodl jsem se si karbonové desky vyrobit sám. Dvě vrstvy uhlíkové tkaniny s keprovou vazbou o gramáži 250g/m² jsem pomocí stěrky napustil epoxidovou pryskyřicí a pro dosažení hladkého povrchu jsem je umístil mezi dvě skleněné desky, které jsem předtím natřel separačním voskem. Abych odstranil případné vzduchové bubliny a přebytečnou pryskyřici, vložil jsem vše do tlustostěnného polyethylenového pytle, který jsem utěsnil a pomocí kompresoru v něm vytvořil podtlak -0.9 bar (viz Příloha 38). Po vytvrzení pryskyřice bylo možné s deskami dále pracovat. Abych dosáhl co nejpřesnějšího a nejčistějšího výsledku, vyřezal

jsem jednotlivé paprsky pomocí CNC⁴ frézy (viz Příloha 39). Obdobný postup jsem zvolil také pro výrobu rozet, na které jsem paprsky radiálně lepil (viz Příloha 40).

5.5.2 Vakuové tvarování termoplastů

Původně jsem chtěl vakuovým laminováním vyrobit také ráfky, což by ovšem vyžadovalo negativní formu s dokonalým povrchem, proto jsem se rozhodl pro vakuové lisování tvrzeného polystyrenu. Desku houževnatého polystyrenu jsem upevnil do dřevěného rámu a horkovzdušnou pistolí ji nahříval, dokud jsem nedosáhl dostatečné plasticity. Pomocí frézovaného modelu, jednoduchého vlastnoručně zhotoveného vakuového lisu a vysavače jsem z nahřátého plastu vytvaroval čtyři stejné výlisky, ze kterých jsem následně speciálním nitroředidlem C6000 slepil ráfky. Nakonec jsem do každého vyřezal dvanáct otvorů, do kterých jsem po nabarvení a nalakování vlepil karbonový výplet (viz Příloha 41).

Stejným způsobem jsem z plexiskla vytvaroval také zadní světlo. Plexisklo však není ani po zahřátí tak tvárné, jako tvrzený polystyren. Při snaze dosáhnout větší plasticity zvýšením teploty může dojít

⁴ Z angličtiny „computer numerical control“ - číslicové řízení počítačem, nejčastěji u obráběcích strojů. Numerical control – Wikipedie [online]. 2013 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_numerical_control>.

k přehřátí materiálu, což se projeví nevzhlednými bublinkami. Aby se na plexisklo nepřenesla nežádoucí struktura a nerovnosti, vyrobil jsem pro jeho tvarování model z tvrdého dřeva a povrch dokonale vybrousil.

5.5.3 CNC frézování

Objemnější díly jsem vyrobil z polyuretanové pěny. Zatímco pneumatiky jsem vybrousil ručně, rám a vidlici jsem vyfrézoval na tříosé CNC fréze. Abych se vyhnul lepení symetrických dílů ze dvou polovin, zvolil jsem oboustranné frézování. Při něm byla nejprve opracována jedna polovina modelu, následně jsem frézovaný materiál otočil o 180° kolem vodorovné osy a vyfrézoval do něj druhou polovinu. Pro tento postup bylo potřeba 3D model doplnit o podpěry, které zajišťují model při druhém upnutí. Po dokončení frézování jsem podpěry odřízl a model začistil.

Přesto nebylo možné některé části modelu vyrobit v celku ani oboustranným frézováním. Rám jsem proto rozdělil na tři části. Kvůli lepší přístupnosti při dalších krocích, jsem k rámu nejprve přilepil jen jednu stranu řetězové stavby. Druhou jsem připevnil až po dokončení povrchové úpravy. Případné spáry jsem zatmelil dvousložkovým polyesterovým tmelem.

5.5.4 3D tisk

Pro sedlo, řídítka a další drobné a tvarově složité díly jsem zvolil technologii práškového 3D tisku. Po vytištění jsem díly lehce přebrousil brusným papírem, abych odstranil vrstevnice charakteristické pro tuto technologii. Díly jsem napustil vteřinovým lepidlem, čím došlo k jejich zpevnění a následně jsem je ještě jednou přebrousil, abych odstranil zbylé nerovnosti a případné mapy v místech, kde jsem použil příliš mnoho lepidla.

5.5.5 Povrchová úprava

Před povrchovou úpravou jsem všechny díly natřel modrou nitro barvou, která kromě snížení savosti materiálu sloužila také jako signalizace pro případ, že bych se probrousil některou s následujícími vrstev. Porézní povrch polyuretanové pěny, stejně jako hrubou strukturu 3D tištěných dílů jsem zaplnil dvousložkovým polyesterovým tmelem, pro jehož nanášení jsem použil stříkací pistoli. Její výhodou je, ve srovnání se spreji, možnost nanesení silnější, nicméně rovnoměrné vrstvy. Na rozdíl od tmelů a plničů ve spreji jsou dvousložkové tmely po vytvrzení inertní, takže nehrozí nežádoucí reakce s další vrstvou. Po vybroušení tmelu brusným papírem se zrnitostí 240 jsem stejným způsobem nanas dvousložkový polyuretanový plnič, který jsem vybrousil za mokra papírem zrnitosti 1000 (viz Příloha 42). Po nástřiku tmelu i plniče jsem vždy povrch

jemně poprášil signální barvou, která mi při broušení sloužila ke kontrole kvality povrchu.

5.5.6 Barvení

Po dokonalém vybroušení a důkladném očištění povrchu benzínovým čističem jsem mohl přejít k nanášení barvy (viz Příloha 43). Jako hlavní nástřik rámu jsem zvolil stříbrnou metalízu s teplým nádechem nanášenou stříkáací pistolí. Na ráfky jsem použil grafitovou metalickou barvu v odstínu imitujícím karbon použitý ve výpletu kol. Na metalické části a pohledový karbon jsem následně nanesl dvousložkový transparentní polyuretanový lak. Nakonec jsem části rámu vykryl lakýrnickou maskovací páskou a nastříkal je matnou černou.

5.5.7 Detaily

Pro drobné díly, které vyžadovaly vyšší pevnost pro pohodlnou manipulaci při výrobě, by nebyl 3D tisk příliš vhodný. Detaily, jako je ozubené kolo hnacího řemenu, brzdy nebo rámeček úložného prostoru, jsem z tohoto důvodu slepil z kousků tvrzeného polystyrenu (viz Příloha 44).

V případě měkkých částí modelu jsem měl možnost použít materiály odpovídající skutečnosti. Textilní pásy tvořící úložný prostor jsem vyrobil z 20mm širokých polypropylenových popruhů. Záměrně jsem

zvolil odstín *Lime Punch Neon*, který vytvořil výrazný barevný akcent v jinak neutrálním celku. Nastřihané pásy se zatavenými konci jsem k rámečku nejprve připevnil nití, následně jsem je přilepil vteřinovým lepidlem. Po vlepení do rámu kola jsem je nahřál horkovzdušnou pistolí, čímž došlo k jejich smrštění a dopnutí (viz Příloha 45).

6 TECHNOLOGICKÁ SPECIFIKA

6.1 Motor

V současné době se výrobou motorů pro elektrokola zabývá mnoho firem, a proto není v mých silách popsat všechny typy. Přesto se zde pokusím alespoň nastínit nejběžnější konfigurace a jejich vlastnosti.

6.1.1 Motor v náboji

Umístění motoru do výpletu předního nebo zadního kola je nejstarší a pravděpodobně nejběžnější způsob transformace běžného jízdního kola na elektrokolo. Jelikož je tato přestavba poměrně nenáročná, prodejci nabízí kompletní sady, které je možné instalovat takřka na libovolný rám. V případě tohoto typu motoru má jeho umístění rozhodující vliv na jízdní vlastnosti.

Kolo s motorem umístěným vpředu má v kombinaci s běžným šlapáním hnaná obě kola, což usnadňuje jízdu v blátě a na sněhu. Tento způsob instalace také umožňuje použití libovolného převodového systému zadního kola včetně nábojové převodovky. Motor umístěný vpředu může také zlepšit vyvážení kola v případě velmi oblíbeného umístění baterie na zadním nosiči. Vzhledem k tomu, že má přední kolo větší tendenci k prokluzování díky jeho menšímu zatížení, je celkově nižší riziko přetížení a přehřátí motoru, například při jízdě do svahu. Špatná

trakce však může způsobit potíže zejména při nižších rychlostech v náročném terénu. Hlavní nevýhodou pohonu umístěného v předním kole je bezpečnost. I v případě řádné montáže způsobuje vyšší namáhání patek a vyšší riziko jejich odlomení. Z tohoto důvodu se nedoporučuje do předního kola zaplétat motory s vysokým výkonem. Velké bezpečnostní riziko představuje také zaseknutí motoru.

Přestavba a servis kola se zadním pohonem jsou sice náročnější, celkově ale toto umístění poskytuje lepší jízdní vlastnosti. Obvykle neumožňuje použití systému s 8 nebo 9 zadními převody, které mohou vzhledem k šířce motoru vyžadovat rozšíření zadní vidlice. Nespornou výhodou je vyšší bezpečnost. Následky selhání zadního kola a vidlice jsou ve srovnání s předním pohonem obvykle nižší nebo zcela zanedbatelné. Kromě větší praktičnosti je toto řešení také méně nápadné a tím pádem esteticky přijatelnější.

V současnosti nejpoblárnější značkovou souprava pro přestavbu jízdního kola představuje systém BionX (viz Příloha 18). Vzhledem k vysoké kvalitě tohoto kitu je častou volbou velkých výrobců jako jsou například Trek, Ohm, Smart, Grace nebo KTM. Zvláštností systému BionX je rekuperace, jejíž cílem je prodloužit dojezdovou vzdálenost na jedno nabití baterie. Při jemném stisknutí brzdy dochází k brždění motorem, který generuje elektrickou energii a dodává ji zpět do akumulátoru. Kromě

dobíjení akumulátoru také dochází k nižšímu opotřebení brzd například při dlouhé jízdě z kopce, jelikož se ráfková nebo kotoučová brzda aktivuje až při silnějším stisknutí páky. Ačkoli toto řešení působí velmi chytře, jeho účinnost je naprosto zanedbatelná. Lze se domnívat, že má mnohem větší vliv na tržby BionXu než na dobíjení akumulátorů. Motor je vybavený senzorem, který řídí jeho výkon v závislosti na intenzitě šlapání a přirozeně doplňuje sílu cyklisty. Z důvodu zajištění vysoké kvality a kompatibility je systém BionX uzavřený. Řídicí jednotka je umístěná přímo v motoru a je nezbytné používat jen originální baterie. Vzhledem k vyšší ceně komponentů je případná závada na jakékoli součásti BionX finančně náročná. Tato skutečnost je ovšem vyvážená vysokou kvalitou a spolehlivostí.

6.1.2 Motor uprostřed

Jedná se o nejméně běžnou a nejdražší variantu, která je zároveň nejnáročnější na instalaci (viz Příloha 19). Přes tyto nevýhody se však jedná o technicky elegantní řešení. Motor umístěný uprostřed pohání řetěz nebo přímo pedály, a využívá běžného systému převodů, díky čemuž může být motor nastavený na svoji optimální rychlost. Tento typ motorů je lehčí než motory v náboji a také díky jeho umístění je kolo lépe vyvážené. V neposlední řadě mají tyto motory nižší spotřebu.

Autorem velmi originálního řešení pohonu uprostřed je německá firma Gruber (viz Příloha 20). Motor Vivax Assist má tvar válce, který je instalovaný do sedlové trubky a přes ozubené kolo pohání osu pedálů. Motor o výkonu 200 W je vybavený volnoběžkou, takže umožňuje zcela přirozenou jízdu, i když je motor vypnutý. Vivax sice neposkytuje vysoký výkon, ale kompaktní rozměry a možnost plné integrace do rámu z něj dělají mimořádně atraktivní variantu elektrifikace kola. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl použít motor podobné konstrukce ve svém návrhu. Na rozdíl od motoru Vivax jsem jej neumístil do sedlové trubky, ale do přepony trojúhelníku v oblasti pedálů. Motor je před nečistotami a odletujícími kamínky chráněn krytem, který je možné odmontovat, například je-li potřeba motor opravit.

6.2 Baterie

Hlavním zdroje elektrické energie elektrokola je akumulátor, jehož nejdůležitějším parametrem je kapacita. Existují různá chemická složení akumulátorů, z nichž nejpopulárnější představují lithium iontové baterie. Poskytují dobrý poměr kapacity vzhledem ke své hmotnosti a mají také dlouhou životnost. Zpravidla se jedná o články o rozměrech 26 x 26 x 65 mm, které jsou spojeny paralelně a sériově pro dosažení potřebného napětí a celkové kapacity. Běžná lithium iontová baterie

o rozměrech přibližně 7 x 15 x 30 cm a hmotnosti 4 kg jsou schopné v kombinaci s motorem o výkonu 250 W zajistit dojezd 30 – 40 km.

Umístěním akumulátoru do úložného prostoru jsem uživateli umožnil si zvolit jeho velikost dle vlastních požadavků na dojezd. Takto může maximální vzdálenost, kterou kolo urazí na jediné nabití, přesáhnout 100 km.

6.3 Ostatní komponenty

V případě některých funkčních částí jsem se rozhodl ve svém konceptu použít komponenty, které se již v současné době na trhu nachází. Přestože jsem si je vybral kvůli tomu, že dobře zapadají do tvarového pojetí mého návrhu, provedl jsem na nich drobné úpravy, jejichž cílem bylo ještě dokonalejší propojení s celkovým designem. Mezi tyto díly patří uhlíková kola Mad Fiber a kliky Shimano DURA ACE v kombinaci s řemenovým pohonem Gates Carbon Drive.

6.4 Materiál

Materiál je v případě stavby kola rozhodující faktor. Ovlivňuje jeho hmotnost a jeho mechanické vlastnosti. Technologie zpracování jednotlivých materiálů má také zásadní vliv na výsledný tvar. V neposlední řadě tvoří materiál a použité technologie nezanedbatelnou část nákladů na výrobu.

6.4.1 Ocel

Velmi univerzální materiál pro výrobu kola představuje ocel. Jejími přednostmi jsou tuhost a pevnost, které jsou bohužel vykoupeny vysokou hmotností. Vzhledem k trvanlivosti, odolnosti a nízké ceně má tento materiál ve výrobě kol největší zastoupení. Rámy vyráběné v Asii určené především pro asijský trh jsou z drtivé většiny vyráběny z oceli, především kvůli nízkým výrobním nákladům. Velká odolnost a nízká cena dělají z oceli vhodný materiál také pro kola určená pro městské výpůjční systémy. Ačkoli ocel exceluje po stránce mechanických vlastností, je kvůli své vysoké hmotnosti nahrazována alternativními materiály.

6.4.2 Hliníkové slitiny

Nebereme-li v potaz levné ocelové rámy, představují hliníkové slitiny nejběžnější materiál pro stavbu kol. Jeho měrná hmotnost je ve srovnání s většinou ocelí zhruba třetinová. Ačkoli nemá zdaleka tak vysokou pevnost a tuhost jako ocel, právě díky nízké hmotnosti je možné tyto nedostatky kompenzovat mírným předdimenzováním profilů, z kterých je rám složen. Hliník je ve srovnání s ocelí náchylnější k prasknutí a tyto vady jsou také hůře opravitelné, takže ačkoli má dobrou odolnost vůči korozi, nevyznačují se hliníkové rámy dlouhou životností. Přesto poskytují po stránce designu poměrně velkou tvarovou volnost díky své snadné obrobitelnosti na CNC strojích.

6.4.3 Titan

Titan je pravděpodobně jeden z nejlepších materiálů pro stavbu rámu vůbec, zejména díky vyváženosti jeho vlastností. Jeho pevnost je srovnatelná s ocelí, zároveň má téměř poloviční měrnou hmotnost. Hlavním záporem tohoto materiálu však zůstává jeho vysoká cena. Proti jeho uplatnění v designu hraje především fakt, že je velmi těžko opracovatelný a tvar je tím pádem omezený především na kruhové profily. Proto se titan uplatňuje zejména u závodních a cyklokrosových rámu, kde není prioritou estetická stránka, ale extrémní tuhost a pevnost v kombinaci s nízkou hmotností.

6.4.4 Kompozitní materiály

Kompozitní materiály, představují pro návrh kola mimořádně atraktivní materiál. Vykazují vysokou tuhost a mimořádně nízkou hmotnost. Zpravidla se jedná o tkaniny z uhlíkových vláken zpevněných epoxidovou matricí. Reputaci tohoto materiálu kazí především jeho křehkost. Uhlíkové rámy sice nejsou výrazně náchylnější na poškození než například rámy z hliníku, když ale dojde k jejich fatálnímu selhání, jedná se zpravidla o velkolepou podívanou. Drobné defekty a praskliny jsou však paradoxně mnohem snáze opravitelné než v u hliníkových slitin. V případě, kdy extrémní lehkost není prioritou, jsou stěny kompozitních rámu předimenzované, tím pádem mnohem odolnější. Podobný efekt

má kombinace různých typů vláken, například uhlíkových a aramidových. Tvarové možnosti v případě kompozitních materiálů jsou velmi závislé na použité technologii.

Velmi omezené tvarování umožňuje jen takový postup, při němž jsou již hotové komerčně dostupné profily lepeny do výsledného tvaru (viz Příloha 21). V místě spoje jsou jednotlivé části ovinuty a navzájem spojeny páskami z uhlíkových nebo aramidových vláken. Vlákna jsou dále prosycena epoxidovou pryskyřicí, po jejímž vytvrzení vznikne pevný spoj. Výhodou tohoto postupu je, že takto vytvořené spoje jsou díky vrstvení a různému směru vláken velmi odolné. Působivějších výsledků je možné dosáhnout nahrazením jednoduchých trubek složitějšími profily navrženými již pro konkrétní design (viz Příloha 22).

Největší tvarovou volnost poskytuje výroba kompozitních dílů pomocí forem. Pro tuto technologii se nejčastěji používají prepregy⁵ nebo tkanina nasycená dvousložkovou pryskyřicí těsně před použitím. Materiál je pomocí počítačem řízených plotterů nařezaný na požadované tvary. Těmito díly je pak obalené jádro ve tvaru rámu. Výrobek je vložený do temperované ocelové nebo hliníkové formy, ve které dochází

⁵ Z angličtiny „pre-impregnated“. Polotovary pro výrobu kompozitů dodávané v podobě tkaniny nasycené částečně vytvrzenou pryskyřicí. Prepregy se skladují v chladu a po aplikaci se dotvrzují za zvýšené teploty.

k vytvrzování pryskyřice po dobu 45 minut (viz Příloha 23 a 24). Nejčastěji jsou jako jádra používány pěnové modely, které zahřátím zvětší objem, čímž dojde k přitlačení tkaniny na stěnu formy. Takto je zajištěn hladký povrch a důkladné přilnutí jednotlivých vrstev. Druhou běžnou variantou jádra jsou měchýřky, u nichž je tlaku potřebného ke spojení vrstev dosaženo nafouknutím. Kromě ráků jsou tímto způsobem vyráběny také přední vidlice a ráfky.

6.4.5 Přírodní materiály

Ráky z přírodních materiálů, jako je dřevo nebo bambus představují v současné době spíše raritu (viz Příloha 25 a 26). Jsou sice velmi lehké, poměrně levné a snadno opracovatelné, mají však velmi charakteristické vlastnosti, díky nimž nejsou pro stavbu kola nejvhodnější. Jelikož se jedná o anizotropické materiály, jsou jejich mechanické vlastnosti velmi závislé na směru namáhání. Zásadním způsobem nevynikají ani trvanlivostí a odolností proti vlhkosti, která může způsobit jejich deformaci a borcení.

Z výše uvedených důvodů je zřejmé, že nejpraktičtější a cenově dostupný materiál pro výrobu ráku představují hliníkové slitiny. Zajímavější avšak finančně náročnější variantou jsou kompozity. Vzhledem k tomu, že tyto materiály poskytují v závislosti na použité technologii poměrně velkou tvarovou volnost, bylo by možné pro mnou navržený rák použít obě varianty a vytvořit tak dvě cenově odlišné řady.

7 POPIS DÍLA

Výsledkem praktické části mé diplomové je elektrokolo, jehož rozměry jsou volně inspirované kategorií BMX (viz Příloha 47 a 48).

Jeho pravoúhlá konstrukce postrádající sedlovou stavbu vychází z neobvykle řešeného úložného prostoru v prostřední části rámu. Ten je tvořen překříženými a vzájemně propletenými textilními popruhy a kromě umístění vyjímatelného akumulátoru může sloužit k uložení příručního zavazadla. Popruhy tvoří výrazný vizuální prvek, který zlepšuje viditelnost kola a tím pádem také zvyšuje bezpečnost na silnici. Na kolo jsou upevněny pomocí jednoduchého plastového rámu, díky čemuž je otevřen prostor i pro další varianty a materiály výplně. Zároveň se jedná o zajímavý element z hlediska budování případné obchodní značky.

Viditelnost kola podtrhuje trojúhelníkové zadní světlo zapuštěné do sedla. Podobně je řešené i přední světlo vestavěné do představce řídítek, jehož součástí je také display informující o stavu baterie a funkci motoru.

Karbonové ráfky o průměru 20" s jednoduchým výpletem opticky odlehčují jinak poměrně robustní rám. Motor umístěný v trojúhelníkové konstrukci uprostřed je před nečistotami chráněn krytem, který kolu dodává lehce off-roadový charakter.

8 PŘÍNOS PRÁCE PRO DANÝ OBOR

Návrh elektrokola představuje poměrně náročné téma. Ačkoli se nabízí možnost jednoduché přestavby běžného dokonale funkcionalistického jízdního kola, vysoké pořizovací náklady vyžadují, aby bylo elektrifikované kolo něčím výjimečné.

Většina současných produktů a designových studií se zaměřuje především na otázku umístění elektromotoru a baterie a dosažení originálního tvaru. Ve svém návrhu jsem se kromě této problematiky rozhodl naplno využít prostor rámu a vytvořit tak kolo, které by kromě elektrického pohonu nabídlo další přidanou hodnotu v podobě využití volného místa k přepravě menších zavazadel.

Nároky na dojezd dopravního prostředku se mohou lišit v závislosti na požadavcích uživateli. Kromě přepravy příručního zavazadla umožňuje mnou navržený úložný prostor volbu libovolné velikosti akumulátoru a měnit tak maximální dojezdovou vzdálenost na jedno nabití. V extrémním případě je možné celý prostor vyplnit baterií a několikanásobně tak zvýšit dojezd.

Díky netradiční konstrukci, originálním detailům a materiálům jsem dosáhl neobvyklého sportovně užitkového charakteru. Náklady na pořízení takového kola by jistě nebyly zanedbatelné. Vzhledem

k velkorysosti řešení a preciznímu tvarování si ale myslím, že by si elektrokolo bylo schopné najít své příznivce a přesvědčit případné skeptiky ke koupi i navzdory vyšší pořizovací ceně.

9 SILNÉ STRÁNKY

Konceptuální stránka návrhu, kterou jsem popsal v předchozí kapitole, představuje důležitý ideový základ mého projektu. Tuto myšlenku by však nebylo možné obhájit bez kvalitního zpracování. Velké úsilí jsem proto věnoval právě formální stránce tohoto projektu. Kromě standartní kresby jsem svůj návrh rozvíjel formou digitální malby, která mi umožnila již v rané fázi věrně zachytit a prezentovat proporce, materiály i grafické varianty. Za velký přínos považuji ověření návrhu pomocí výkresu 1:1, který sehrál velmi důležitou roli při volbě finální varianty a také při jejím dalším rozvíjení.

Při tvorbě 3D modelu jsem maximálně využil své znalosti programu Autodesk Alias Automotive. Díky předchozím zkušenostem s modelováním tvarově komplikovaných částí automobilových karoserií jsem design nemusel v žádném ohledu podřizovat svým modelářským dovednostem. Proto i složité plochy a přechody působí velmi čistě po technické i estetické stránce, což se kromě vizualizací odráží i na prezentačním modelu.

Také ten stojí za zmínku. Ačkoli se jedná o složitý model, je díky využití řady technologií, materiálů a postupů proveden velmi precizně a detailně (viz Příloha 46).

10 SLABÉ STRÁNKY

I když v této práci prezentuji především pozitiva elektrokola, nemohu se vyhnout ani jeho nedostatkům. Motor je sice schopný pomoci překonat nepříznivý profil města nebo krajiny a zajistit tak určité pohodlí i fyzicky méně zdatným jedincům, společně s akumulátorem však představuje potenciální nebezpečí v případě závažné poruchy. Stejně jako jízdní kolo neposkytuje ani jeho elektrifikovaná varianta takový komfort jako například automobil. V zimě, za špatného počasí nebo ve městě se silně znečištěným ovzduším, nemusí elektrokolo, i přes jeho nesčetné výhody, představovat ideální dopravní prostředek.

Zaměřím-li se na slabé stránky mého návrhu, může jednu z nich představovat právě úložný prostor. Ve srovnání se zadním nosičem nebo košem připevněným na řídítkách neumožňuje přepravovat příliš rozměrná zavazadla. Tento nedostatek však vyplývá z umístění, které má zajistit snadnou vizuální kontrolu zavazadla a zároveň dobré vyvážení kola. Nicméně pro přepravu příručního zavazadla, menšího nákupu, případně notebooku nebo tabletu, které představují současný symbol mobility, je tento prostor dostatečný.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

11.1 Knižní a periodická literatura

BURROWS, Mike. *Bicycling Design*. London: Snowbooks, 2008, 216 s.
ISBN 13-978-1-905005-680.

KOLÁŘOVÁ, Hana. *Návrh cyklistického rámu z hlediska materiálu*. Plzeň, 2011. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Eva Krónerová.

MORCHIN, William C a Henry OMAN. *Electric bicycles*. Hoboken, N.J.: IEEE Press, 2006, 190 s. ISBN 04-716-7419-2.

PRIMAS, Pavel. *Návrh městského dopravního prostředku*. Plzeň, 2013. Bakalářská Práce (BcA.). Západočeská univerzita v Plzni, Ústav umění a designu. Vedoucí práce Martin Hynek.

WILSON, David Gordon. *Bicycling Science*. 3. vyd. Cambridge: MIT Press, 2004, 476 s. ISBN 02-627-3154-1.

11.2 Internetové zdroje

Audi e-bike Wörthersee Concept [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupný z

WWW: <<http://www.carbodydesign.com/2012/05/audi-e-bike-worthersee-concept>>.

BionX Hub Motor Kit Review [online]. [cit. 2014-03-08]. Dostupný

z WWW: <<http://www.electricbike.com/bionx>>.

Bmw | BMW iPedelec: a foldable electric bike for the i3 [online].

[cit. 2014-03-11]. Dostupný z WWW:

<<http://www.technologicvehicles.com/en/green-transportation-news/1868/bmw-ipedelec-a-foldable-electric-bike-for-the>>.

Electric Hub Motor Conversion [online]. [cit. 2014-03-08]. Dostupný z

WWW: <<http://www.electricbike.com/hub-motor-conversion-front-or-rear-wheel-drive>>.

Gruber Assist - Doped E-bike Porn [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupný

z WWW: <<http://www.electricbike.com/gruber-assist>>.

12 RESUMÉ (EN)

For my Master's thesis, I have chosen to design an electric two-wheeler vehicle. I decided to create an electric bicycle as I found it incredibly practical in today's world. I focused on making a unique construction, which would be aesthetic, ergonomic and very functional.

The beginning of this thesis contains description of my approach to design, my achievements related to this field and my current work. I describe reasons for choosing a personal mobility as a theme of my thesis and also my goals and expectations regarding this topic.

Research represents an important part of my project. History of the bicycle and the electric bicycle shows the crucial moments and breakthroughs in bicycle construction. The next part is devoted to the current trends in bicycle design followed by a few examples of electric bicycles designed by leading car brands.

The main part of the text presents my design process: ideation sketches, digital painting, tape drawing and 3D modelling. The final step of the practical part was to create a 1:2 scale model of my design. In the text, I briefly describe technology of vacuum laminating used for manufacturing carbon fiber, vacuum forming of thermoplastics, 3D printing and CNC milling, which was used for most of the parts of my scale model.

The last part contains a description and evaluation of the finished design.

13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1

Karl Drais: Laufmaschine

Příloha 2

Pierre Lallement: Patentový nákres jízdního kola

Příloha 3

Jízdní kolo typu Penny-farthing

Příloha 4

Ogden Bolton ml.: patentový nákres kola s elektrickým pohonem v zadním náboji

Příloha 5

Hosea W. Libbey: Patentový nákres kola s elektrickým pohonem uprostřed

Příloha 6

Matthew J. Steffens: Patentový nákres pohonu zadního kola řemenem

Příloha 7

John Schnepf: Patentový nákres pohonu zadního kola třecí kladkou

Příloha 8

Elektrokolo s baterií na nosiči

Příloha 9

Elektrokolo s baterií za sedlovou trubkou

Příloha 10

Elektrokolo s baterií na dolní rámové trubce

Příloha 11

Elektrokolo s baterií zavěšenou pod horní rámovou trubkou

Příloha 12

Elektrokolo s baterií integrovanou ve spodní rámové trubce

Příloha 13

Elektrokolo s baterií integrovanou v sedlové trubce

Příloha 14

Smart e-bike

Příloha 15

BMW i Pedelec

Příloha 16

Opel RAD e-Bike

Příloha 17

Audi Wörthersee Concept

Příloha 18

Sestava BionX

Příloha 19

Elektromotor Bosch

Příloha 20

Elektromotor Vivax Assist

Příloha 21

Detail spojení uhlíkových profilů

Příloha 22

Karbonový rám lepený z tvarovaných profilů

Příloha 23

Ocelová forma pro výrobu uhlíkového rámu

Příloha 24

Uhlíkový rám

Příloha 25

Bambusové kolo Erba

Příloha 26

Dřevěné kolo THONET

Příloha 27

Ideové skici

Příloha 28

Digitální kresba varianty

Příloha 29

Digitální kresba varianty

Příloha 30

Digitální kresba varianty

Příloha 31

Výkres lepicí páskou v měřítku 1:1

Příloha 32

Digitální kresba finální varianty

Příloha 33

Digitální kresba detailu finální varianty

Příloha 34

Proporční 3D model

Příloha 35

Rozpracovaný 3D model

Příloha 36

Detail napojení řetězové stavby

Příloha 37

Návrh napojení přední vidlice

Příloha 38

Sestava pro vakuové laminování

Příloha 39

Frézování karbonových dílů

Příloha 40

Detail karbonových dílů

Příloha 41

Kompletní kola před nástřikem barvy

Příloha 42

Rám s dokončenou povrchovou úpravou

Příloha 43

Díly po nástřiku barvy

Příloha 44

Výroba vnitřního rámečku

Příloha 45

Lepení vnitřní části rámu

Příloha 46

Prezentační model

Příloha 47

Finální vizualizace

Příloha 48

Finální vizualizace

Příloha 1

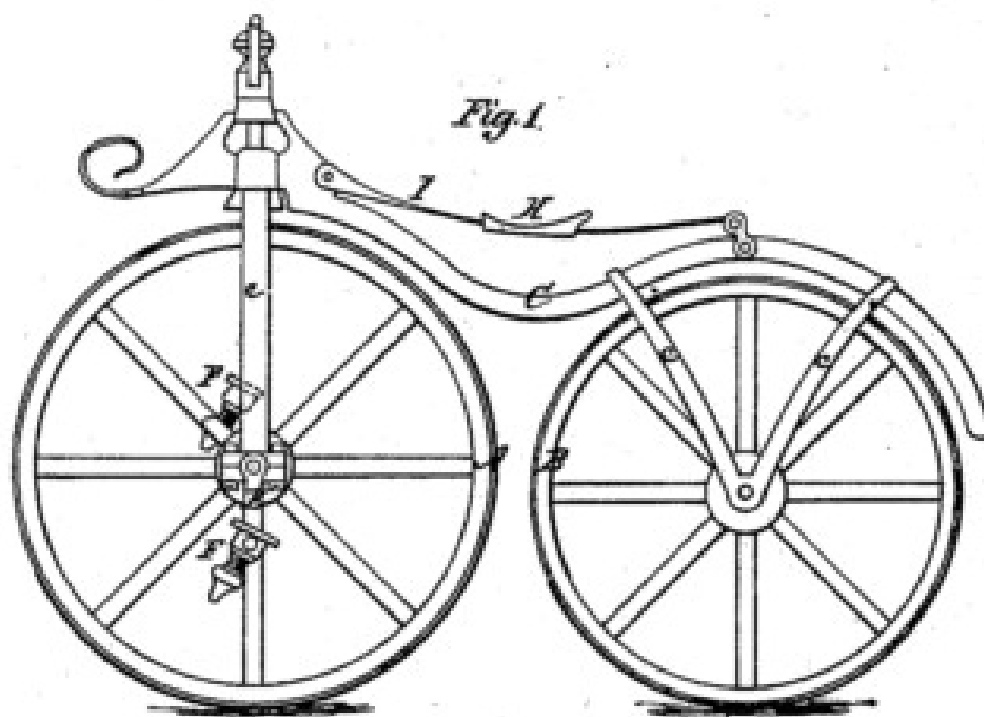
Karl Drais: Laufmaschine¹



¹ <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Draisine1817.jpg>

Příloha 2

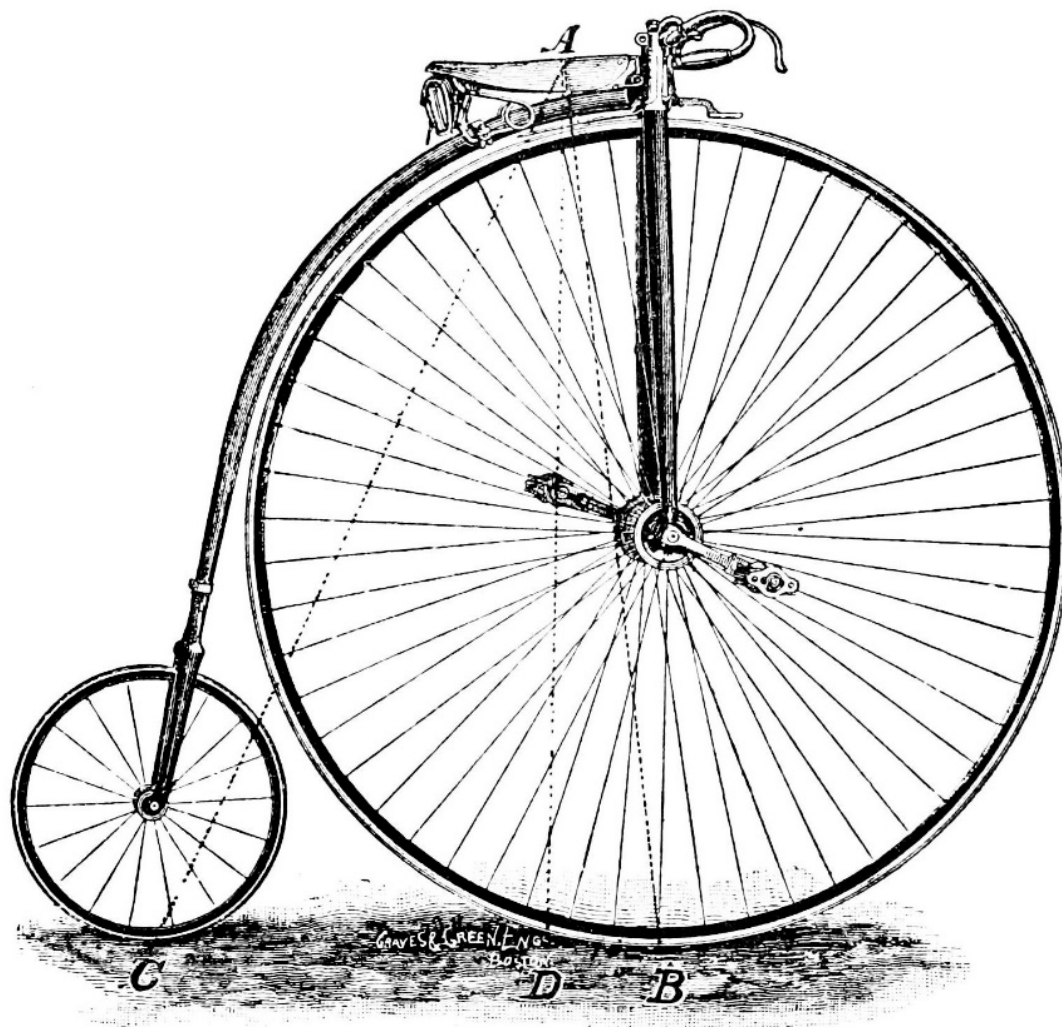
Pierre Lallement: Patentový nákres jízdního kola²



² <http://patentpending.blogspot.com/photos/uncategorized/lallement.jpg>

Příloha 3

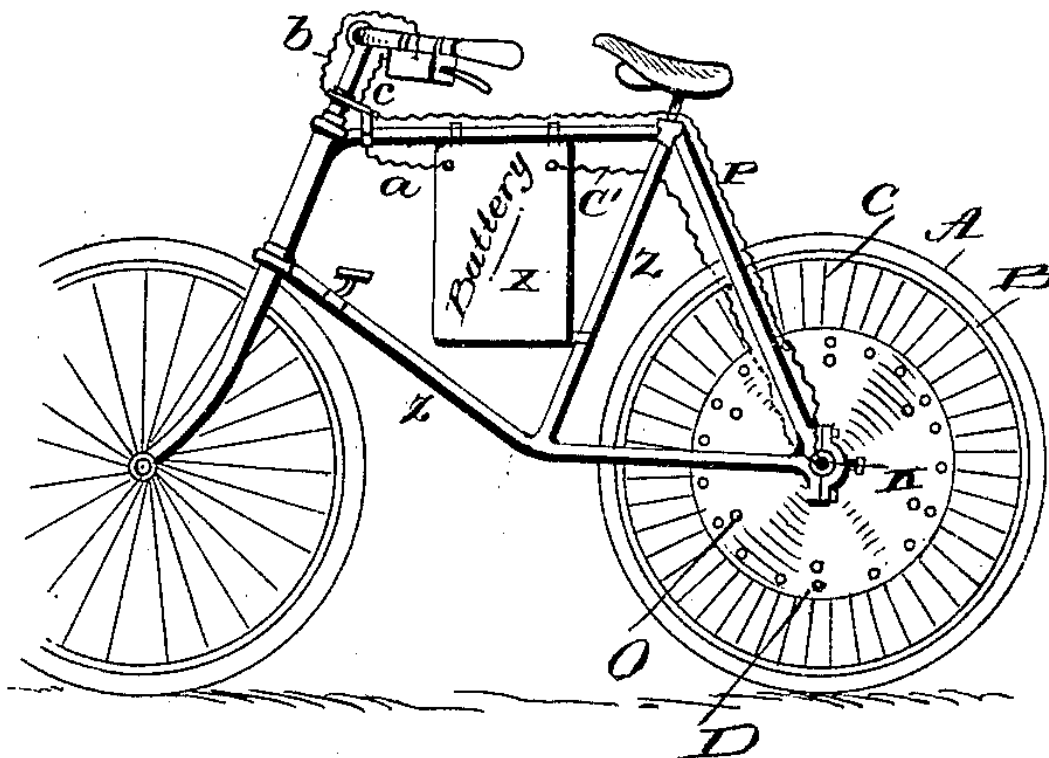
Jízdní kolo typu *Penny-farthing*³



³ <http://www.induchandrasedkhar.com/wp-content/uploads/2013/07/penny-farthing.jpg>

Příloha 4

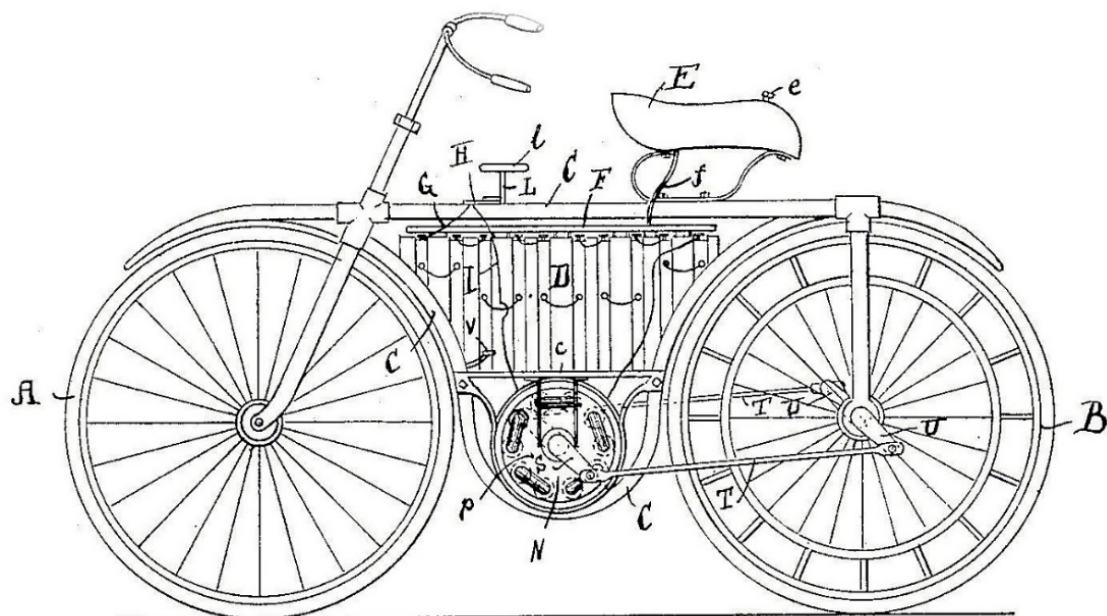
Ogden Bolton ml.: patentový náčrt kola s elektrickým pohonem v zadním náboji⁴



⁴ <http://patentimages.storage.googleapis.com/pages/US552271-0.png>

Příloha 5

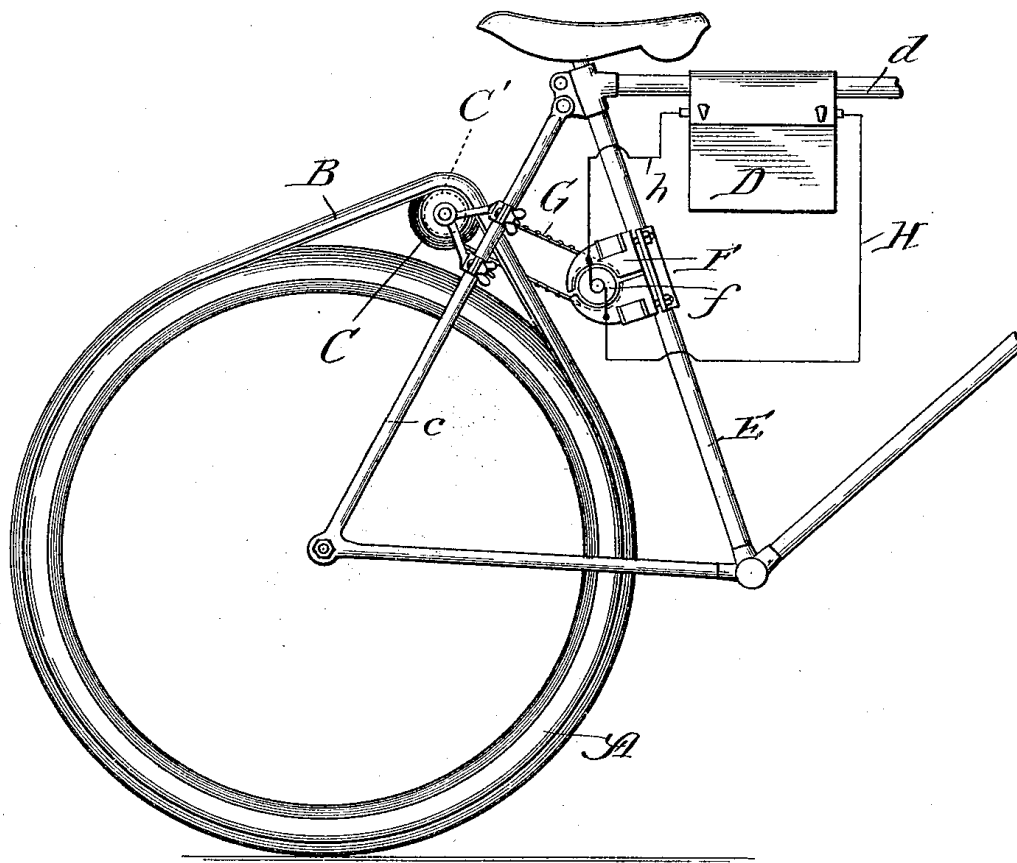
Hosea W. Libbey: Patentový náčrt kola s elektrickým pohonem uprostřed⁵



⁵ <http://silodrome.com/wp-content/uploads/2012/02/H.-W.-Libbeys-Electric-Bicycle.jpg>

Příloha 6

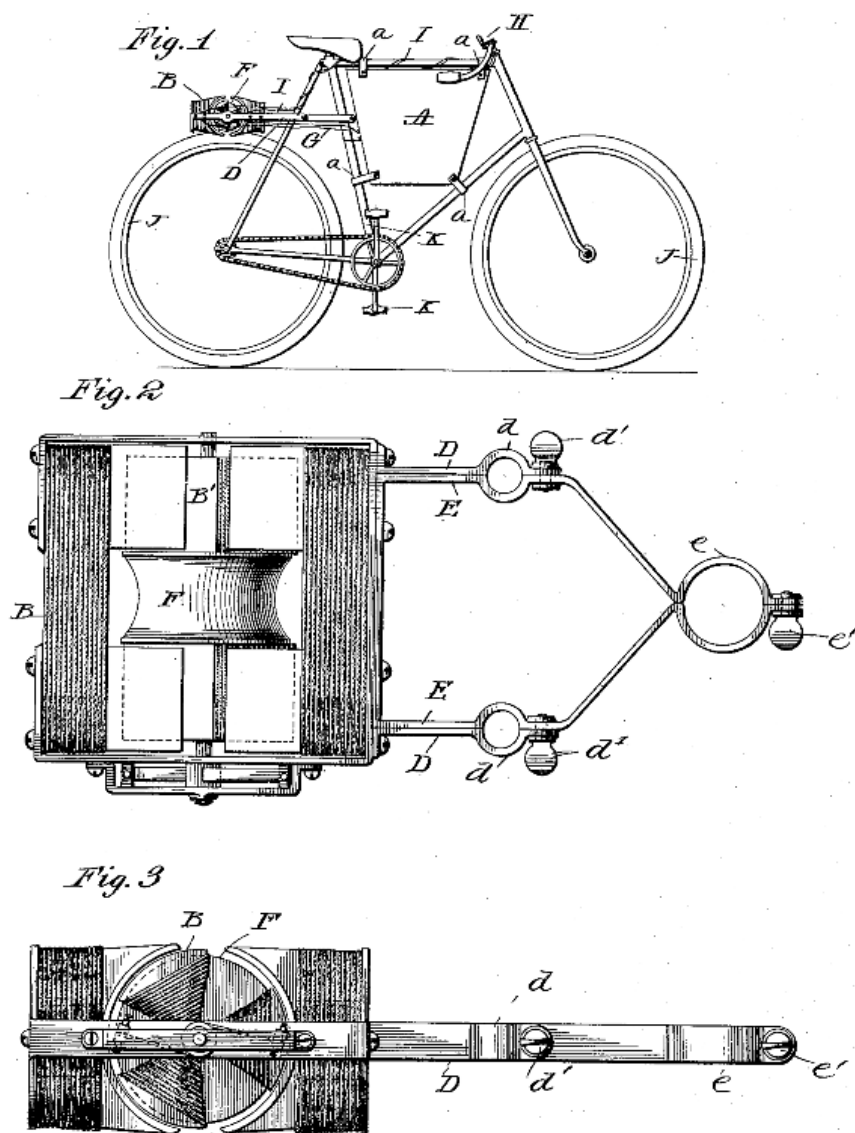
Matthew J. Steffens: Patentový náčrt pohonu zadního kola řemenem⁶



⁶ <http://patentimages.storage.googleapis.com/pages/US613732-0.png>

Příloha 7

John Schnepf: Patentový náčrt pohonu zadního kola třecí kladkou⁷



⁷ <http://static.electricbike.com/wp-content/uploads/2013/11/Patent6.png>

Příloha 8

Elektrokolo s baterií na nosiči⁸



⁸ http://i00.i.aliimg.com/img/pb/530/191/562/562191530_046.jpg

Příloha 9

Elektrokolo s baterií za sedlovou trubkou⁹



⁹ <http://www.oxygenbicycles.com/Images/Emate-2013-Black.jpg>

Příloha 10

Elektrokolo s baterií na dolní rámové trubce¹⁰



¹⁰ <http://www.falcoemotors.com/wp-content/uploads/2013/09/Falco-Genesis-e120.jpg>

Příloha 11

Elektrokolo s baterií zavěšenou pod horní rámovou trubkou¹¹



¹¹ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Electric_Bicycle.jpg

Příloha 12

Elektrokolo s baterií integrovanou ve spodní rámové trubce¹²



¹² <http://www.eco-wheelz.com/catalog/images/stromer-electric-bike.jpg>

Příloha 13

Elektrokolo s baterií integrovanou v sedlové trubce¹³



¹³ <http://www.tuvie.com/wp-content/uploads/flow-e-bike-by-fairly-bike1.jpg>

Příloha 14

Smart e-bike¹⁴



¹⁴ <http://objects.designapplause.com/wp-content/xxG58hlz9/2012/11/e-bike1.png>

Příloha 15

BMW i Pedelec¹⁵



¹⁵ http://www.technologicvehicles.com/Content/news/1868/BMW_iPedelec.jpg

Příloha 16

Opel RAD e-bike¹⁶



¹⁶ http://cardesigncommunity.com/piclib/cd/large/?cdc_id=18104

Příloha 17

Audi Wörthersee Concept¹⁷



¹⁷ http://fourtitude.com/wp-content/uploads/2012/05/AWS120052_medium.jpg

Příloha 18

Sestava BionX¹⁸



¹⁸ http://teslabike.sk/wp-content/uploads/2013/10/bionx_pl_250_m_system_12_z.jpg

Příloha 19

Elektromotor Bosch¹⁹



¹⁹ <http://brimages.bikeboardmedia.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2014/02/English-Cycles-Gates-Belt-Drive-electric-bicycle02.jpg>

Příloha 20

Elektromotor Vivax Assist²⁰



²⁰ <http://www.elektrobike-online.com/sixcms/media.php/6/RB-Vivax-Veloce-Motor-Einbau.JPG>

Příloha 21

Detail spojení uhlíkových profilů²¹



²¹ <http://www.bikerumor.com/wp-content/uploads/2012/04/parlee-factory-tour-carbon-wraps-seat-tube03.jpg>

Příloha 22

Karbonový rám lepený z tvarovaných profilů²²



²² <http://4aa548860e9729d7a4e5-b1d917dcc4c05c586acbfdb262f100b4.r4.cf2.rackcdn.com/38928b208f83cccf9777cec0cdcb789b-ebb8ba2a4abd1c08e94be8a96d288278.jpg>

Příloha 23

Ocelová forma pro výrobu uhlíkového rámu²³



²³ <http://www.ibiscycles.com/images/uploads/wygwam/740Feb-China-trip-024.jpg>

Příloha 24

Uhlíkový rám²⁴



²⁴ http://www.bikerrespect.com/files/ibis_mojo_carbon_frame.jpg

Příloha 25

Bambusové kolo Erba²⁵



²⁵ <http://paisleypetunia.com/wp-content/uploads/2010/11/erba-bamboo-bike-white-1024x647.jpg>

Příloha 26

Dřevěné kolo THONET²⁶



²⁶ <http://megaricoss.files.wordpress.com/2012/10/thonet-bike-1.jpg?w=728>

Příloha 27

Ideové skici²⁷



²⁷ Archiv autora

Příloha 28

Digitální kresba varianty²⁸



²⁸ Archiv autora

Příloha 29

Digitální kresba varianty²⁹



²⁹ Archiv autora

Příloha 30

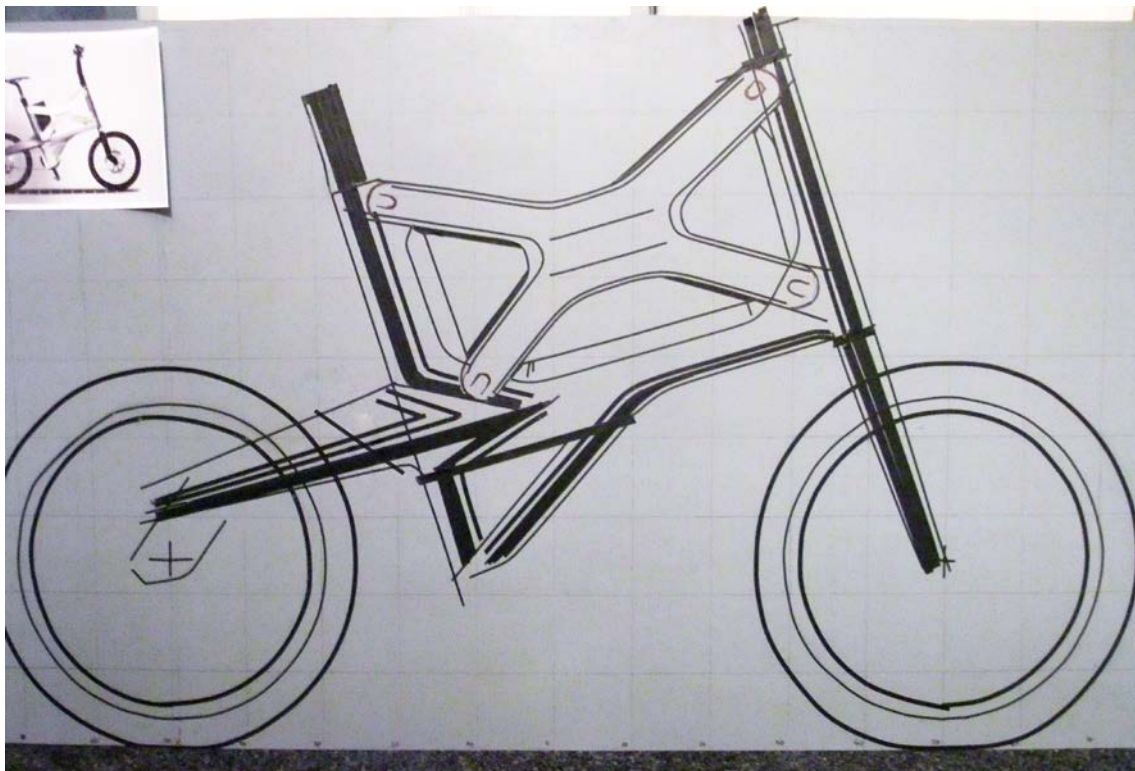
Digitální kresba varianty³⁰



³⁰ Archiv autora

Příloha 31

Výkres lepicí páskou v měřítku 1:1³¹



³¹ Archiv autora

Příloha 32

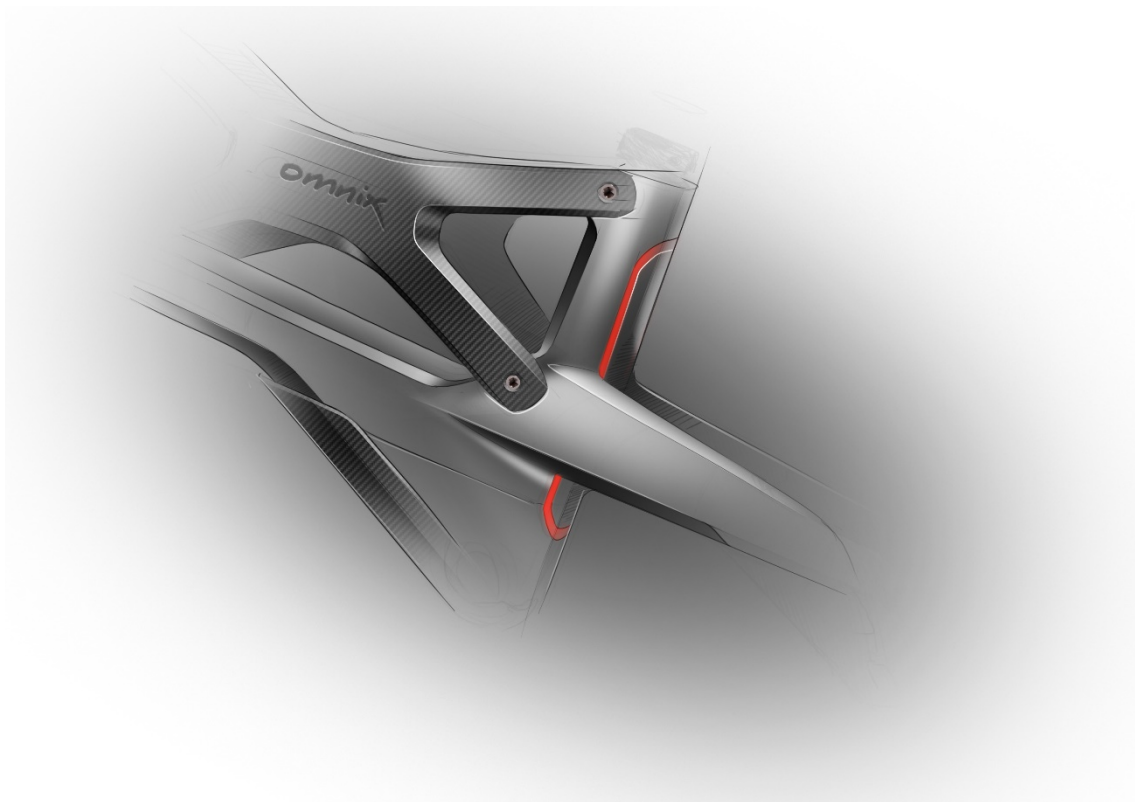
Digitální kresba finální varianty³²



³² Archiv autora

Příloha 33

Digitální kresba detailu³³



³³ Archiv autora

Příloha 34

Proporční 3D model³⁴



³⁴ Archiv autora

Příloha 35

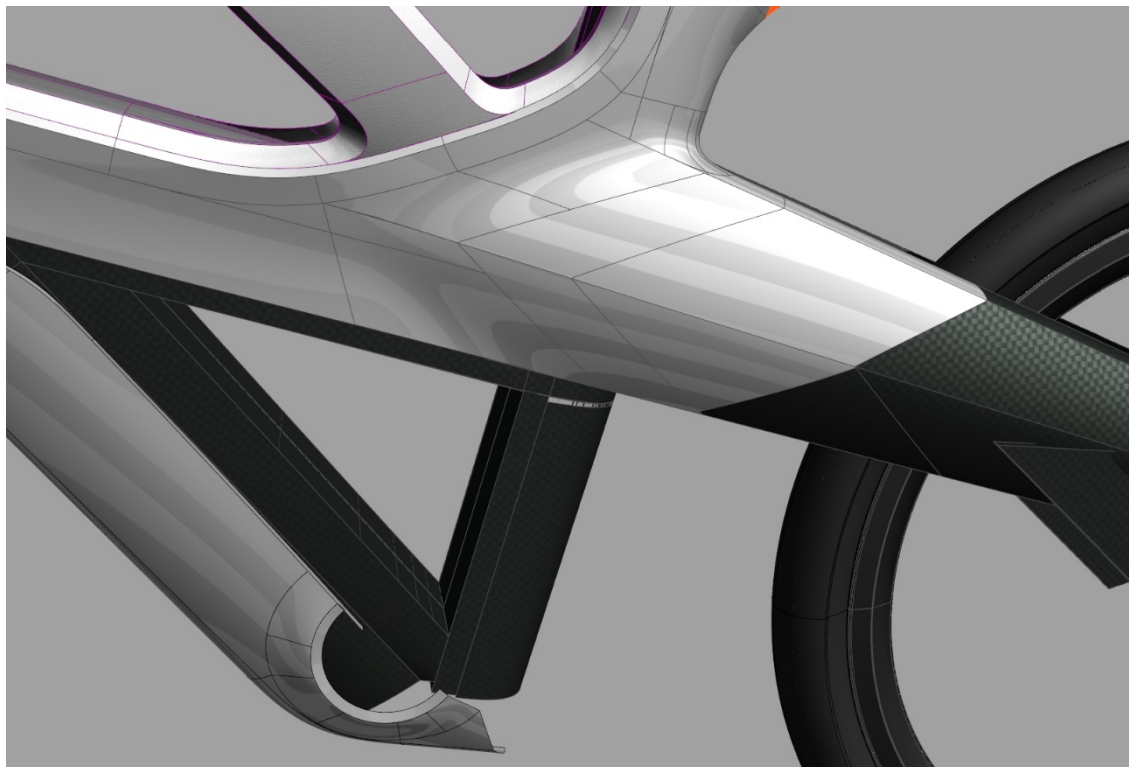
Rozpracovaný 3D model³⁵



³⁵ Archiv autora

Příloha 36

Detail napojení řetězové stavby³⁶



³⁶ Archiv autora

Příloha 37

Návrh napojení přední vidlice³⁷



³⁷ Archiv autora

Příloha 38

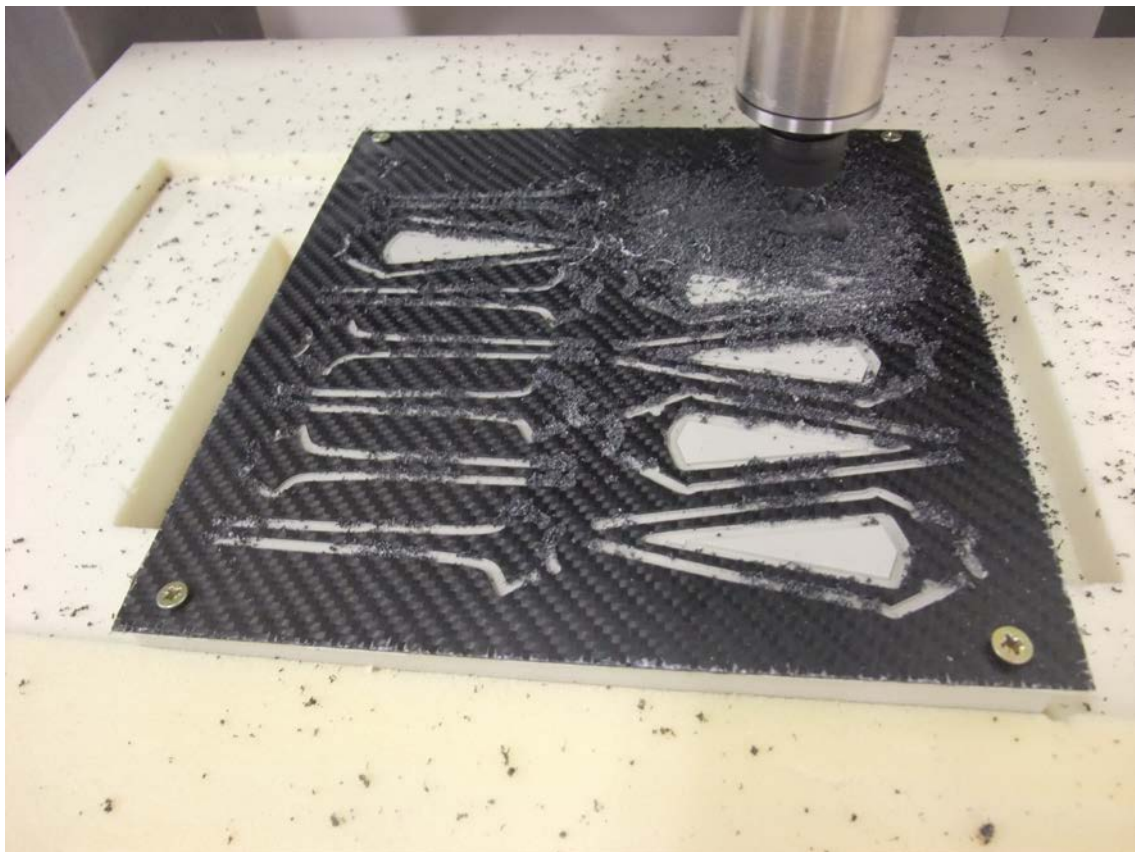
Sestava pro vakuové laminování³⁸



³⁸ Archiv autora

PŘÍLOHA 39

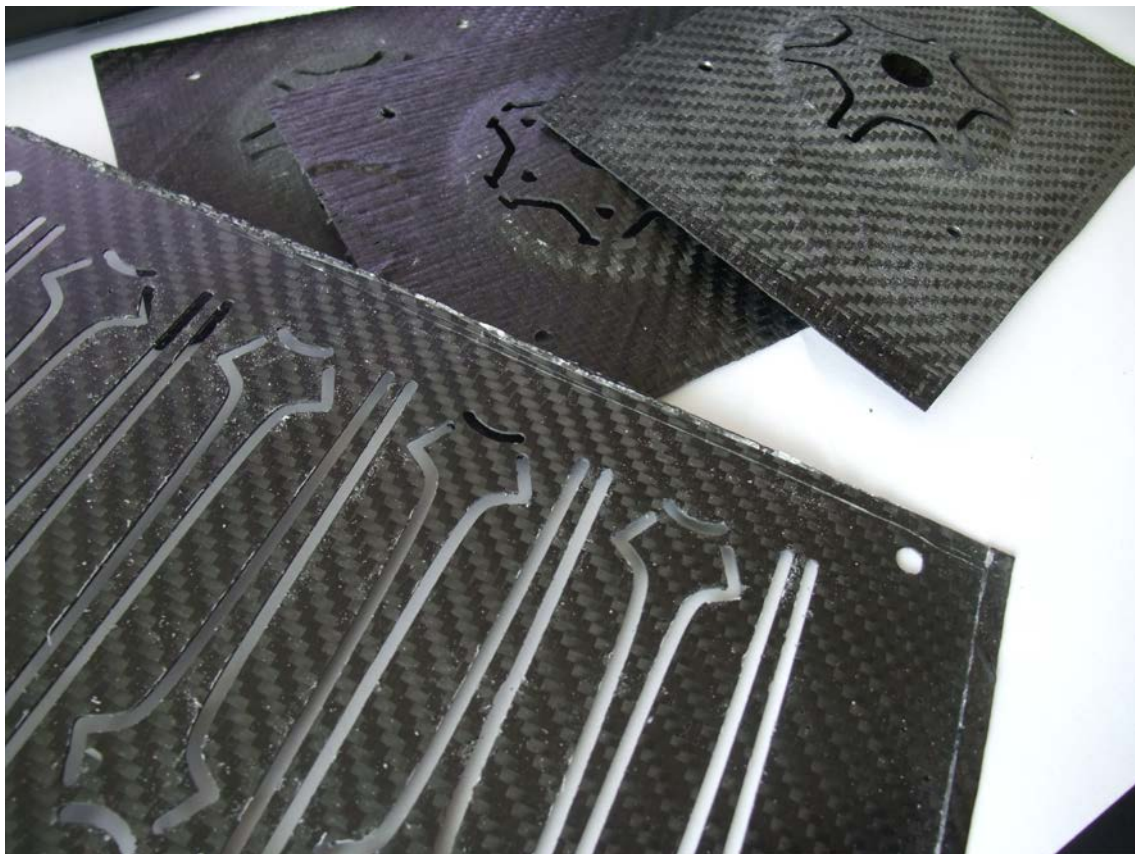
Frézování karbonových dílů³⁹



³⁹ Archiv autora

Příloha 40

Detail karbonových dílů⁴⁰



⁴⁰ Archiv autora

Příloha 41

Kompletní kola před nástřikem barvy⁴¹



⁴¹ Archiv autora

Příloha 42

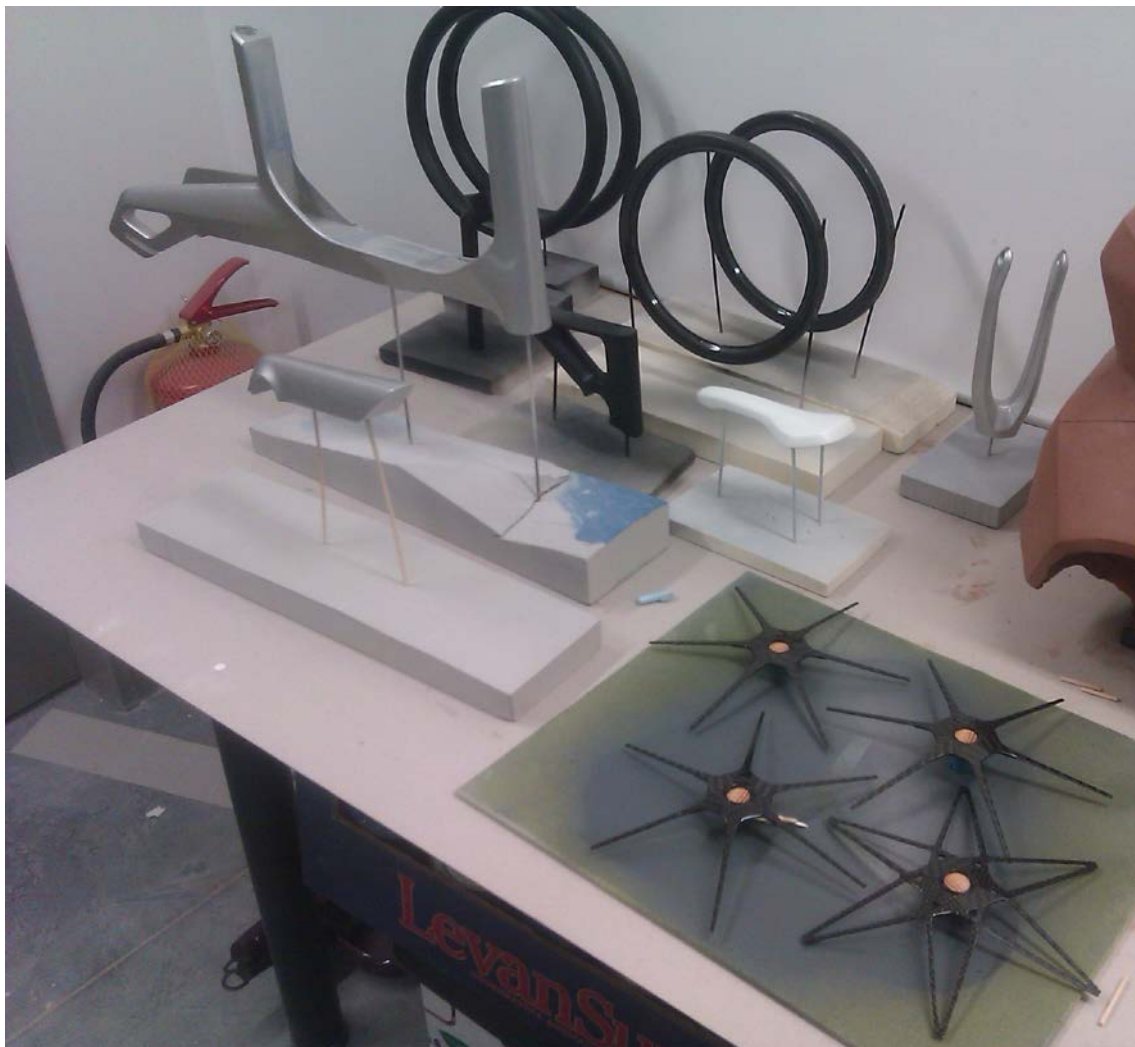
Rám s dokončenou povrchovou úpravou⁴²



⁴² Archiv autora

Příloha 43

Díly po nástřihu barvy⁴³



⁴³ Archiv autora

Příloha 44

Výroba vnitřního rámečku⁴⁴



⁴⁴ Archiv autora

Příloha 45

Lepení vnitřní části rámu⁴⁵



⁴⁵ Archiv autora

Příloha 46

Prezentační model⁴⁶



⁴⁶ Archiv autora

Příloha 47

Finální vizualizace⁴⁷



⁴⁷ Archiv autora

Příloha 48

Finální vizualizace⁴⁸



⁴⁸ Archiv autora