

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

Bakalářská práce

JEDNOSTOPÝ DOPRAVNÍ PROSTŘEDEK

Lenka Baumanová

Plzeň 2020

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

Katedra designu

Studijní program Design

Studijní obor Design

Specializace Průmyslový design

Bakalářská práce

JEDNOSTOPÝ DOPRAVNÍ PROSTŘEDEK

Lenka Baumanová

Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Kubec, PhD.

Katedra konstruování strojů

Fakulta strojní

Západočeské univerzity v Plzni

Konzultant: Ing. Petr Siebert

Katedra designu

Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

Západočeské univerzity v Plzni

Plzeň 2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

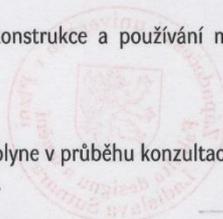
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lenka BAUMANOVÁ**
Osobní číslo: **D17B0153P**
Studijní program: **B8208 Design**
Studijní obor: **Design, specializace Průmyslový design**
Téma práce: **Jednostopý dopravní prostředek**
Zadávací katedra: **Katedra designu**

Zásady pro vypracování

- a) Tvůrčí záměr:
Zvolené téma je vybráno se záměrem o moderní pojetí designu jednostopého dopravního prostředku, které v současné době v různých svých obměnách zažívá renesanci. Což je způsobeno snahou o řešení problematiky osobní přepravy na kratší vzdálenosti.
- b) Způsob realizace:
Na základě skic vznikne 3D počítačová modelace a následně fyzický model. Materiály a technologie budou konzultovány s vedoucím práce.
- c) Cíle, jichž má být dosaženo:
Bude vytvořen moderní design jednostopého dopravního prostředku, jehož přesná specifikace vyplyne v průběhu konzultací s vedoucím práce.
Bude brán ohled na současné trendy konstrukce a používání moderních výrobních technologií. To vše s ohledem na ergonomii.
- d) Předpokládaný charakter výstupu:
1 ks prezentační model, jehož měřítko vyplyne v průběhu konzultací s vedoucím práce, min. 1 ks prezentační plakát formátu B1, vývojové skici, rešerše.
- e) Rozsah průvodní zprávy: minimálně 3 normostrany.



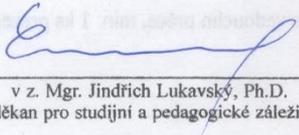
Rozsah teoretické části: **min. 3 normostrany textu**
Rozsah praktické části: **vyplyne ze zpracování BP**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

HOSNEDL, Stanislav a KRÁTKÝ, Jaroslav. Příručka strojího inženýra: obecné strojí části. 1, Spoje, otočná uložení, hřídelové spojky, akumulátory mechanické energie. Vyd 1. Praha: Computer Press, 1999. 313^s. Edice strojaře. ISBN 80-7226-055-3.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Kubec, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Petr Siebert**
Katedra designu

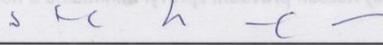
Datum zadání bakalářské práce: **31. května 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2020**


v z. Mgr. Jindřich Lukavský, Ph.D.
proděkan pro studijní a pedagogické záležitosti

Doc. akademický malíř Josef Mištera
děkan



L.S.


Doc. akademický malíř František Steker
vedoucí katedry

V Plzni dne 13. září 2019

Prohlašuji, že jsem umělecké dílo vypracovala samostatně a nejedná se o plagiát.

Plzeň, červenec 2020

.....
Lenka Baumanová

Poděkování

Touto cestou bych chtěla poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Václavu Kubcovi, PhD. a mému uměleckému konzultantovi Ing. Petru Siebertovi za odborné vedení a cenné rady, které mi během konzultací poskytovali. Dále bych chtěla poděkovat firmě MIBO SCOOTERS spol. s r.o. a jmenovitě panu Rostislavu Borákovi a dále panu Václavu Junovi z firmy KOLOBĚHsport za jejich čas a ochotu konzultovat mou práci a významnou pomoc při realizaci díla. Nemohu opomenout poděkovat ani dalším dvěma firmám, které se velmi výrazně podílely na výrobě prototypu – je to firma zámečnická pana Aleše Doležala a truhlářská firma pana Jana Marxe. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a mému nejbližšímu okolí za podporu během celého studia.

Obsah

Úvod	8
1. Historie koloběžek	9
2. Rešerše	10
3. Průběh tvorby.....	11
a) Design, skici, vývoj tvaru	11
b) Technické parametry a konstrukce	13
c) Analytický pevnostní výpočet.....	15
d) Výpočet metodou konečných prvků.....	17
e) Celkové rozměry výsledného návrhu	20
4. Stavba a výroba prototypu	21
5. Závěr	23
6. Seznam použité literatury	24
7. Resumé	26
8. Seznam příloh.....	27

Úvod

„Napadla mě během dneška, kolo, kolo, koloběžka...“ [1]

V současné době je stále populárnější využívat k cestování dopravní prostředky, které nám umožní rychlý přesun a snadné ovládání. Právě těmto požadavkům vyhovují např. jednostopé dopravní prostředky.

Tématem mojí bakalářské práce je design jednostopého dopravního prostředku, konkrétně koloběžky.

Jednostopých dopravních prostředků je na trhu mnoho – motocykl či skútr (z kategorie motorových) nebo kolo či koloběžka (z kategorie nemotorových). Právě na koloběžku jsem se při své práci zaměřila. Koloběžka mě zaujala jako jednoduchý a lehce ovladatelný dopravní prostředek s mnoha využitími. Je vhodná pro jízdu ve městě, kdy si zkracujeme čas a vzdálenosti, nebo v přírodě, kde nám koloběžka skvěle poslouží jako dobrý parťák pro trávení volného času. Koloběžka je také nedílnou součástí dost možná opomíjeného, ale profesionálního sportu – koloběhu.

S koloběžkou se osobně setkávám od dětských let, kdy jsme jako děti s velkou oblibou jezdily na koloběžkách na chalupě po zahradě. Opět, ale ve větší míře, jsem se s koloběžkami setkala loni v létě, kdy se staly přitažlivou atrakcí pro letní aktivity, zejména na horách, kde i já osobně jsem koloběžku využila ke zpestření výletu. Koloběžky tak zažívají jakési znovuzrození a staly se novým trendem. Jet v jedné stopě, jet na dvou kolech spojené stupátkem, pohánět stroj vlastní fyzickou silou, jednou nohou stát, druhou běžet, držet se a jednoduše jet. Jízda na koloběžce se mi velmi zalíbila. Tento dopravní prostředek svou konstrukcí a jednoduchostí pohybu mě zaujal natolik, že jsem se ve své práci rozhodla navrhnout koloběžku dle mých představ, která bude atraktivní svým vzhledem a designem, a zároveň bude funkční a bude splňovat všechny náležitosti pro bezpečnou jízdu.

Ve své práci se nejprve zaměřím na stručnou historii koloběžek a rešerši. Dále popíši průběh práce a tvorbu modelu, vývoj mého designérského pojetí včetně technické části práce v podobě pevnostního výpočtu.

1. Historie koloběžek

Historie koloběžek sahá na přelom 19. a 20. století, do období velkého rozmachu průmyslu. V této době se v průmyslových předměstích snažily děti zabavit při svých hrách, a tak vznikly první prototypy koloběžek. Většinou šlo o staré podvozky nebo vyřazená kolečka, která se připevňovala na prkna z dřevěných beden. Jako říditka a krk koloběžky bylo použito další prkno. Mezi dětmi se koloběžky staly velmi oblíbené, proto se o jejich výrobu postupně začali zajímat výrobci. Vedle dřevěných koloběžek se začaly vyrábět i koloběžky přepychově vybavené. Snahou výrobců bylo zdokonalit výrobu a změnit používané materiály. Dřevo působením vlhka hnilo a podvozek díky rezavění zadržoval. Výrobci proto začali používat komponenty z jízdních kol, díky kterým se jízdní vlastnosti koloběžek o mnoho zlepšily.

Díky rozmachu výroby a oblíbenosti jízdních kol ustupují koloběžky na nějaký čas do pozadí. Bicykly mají oproti koloběžkám větší využitelnost (možnost převážení nákladu, větší rychlost, a i dojezd na větší vzdálenosti...). Navíc se jízdní kola stala módní záležitostí.

V českých zemích má výroba koloběžek dlouholetou tradici. Od roku 1904 se vyráběly koloběžky v Duchcově ve firmě Rudolfa Hirsche „HIKO-Werke“. Ve 30. letech 20. století vyráběl koloběžky závod dětskými vozidly „Autosalon malých“ firmy Jaňour v Praze. Firma nejprve vyráběla koloběžky v dřevěném provedení s gumovými koly a v ceně kolem 40 Kč. Teprve ve 40. letech se rozběhla také sériová výroba koloběžky v kovovém provedení a s gumovými nafukovacími koly v kuličkových ložiscích, s niklovanými blatníky, nožní brzdou a zvonkem. V obchodech byla k dostání za 200 Kč. V současné době je Česká republika světovou velmocí ve výrobě koloběžek pro dospělé.

Koncem 90. let 20. století představil švýcarský vynálezce a bývalý bankéř Wim Ouboter svou vlastní konstrukci lehké hliníkové koloběžky. Ta byla prvoplánově určena pro jeho sestru, která měla díky kratší noze potíže s jízdou na kole. Inspirací byl i život ve městě, kde jsou vzdálenosti často příliš velké pro chůzi a malé pro jízdu autem.

Na koloběžkách se pořádají závody i na mezinárodní úrovni a závody mají několik disciplín. Sportovní koloběžkářskou velmocí je Finsko, těsně následované Českem. Prvním českým mistrem světa byl Michal Kulka v tzv. dlouhém závodu (32 km).

2. Rešerše

V rešerši jsem se zaměřila na průzkum trhu koloběžek. Koloběžek je mnoho druhů a od mnoha výrobců. Jako základní kritéria pro rozdělení koloběžek bych uvedla pohon, cílovou skupinu zákazníků nebo terén pro jízdu. Na trhu existují koloběžky klasické bez pohonu a koloběžky s elektrickým pohonem přidaným nebo přímo zabudovaným v konstrukci. Elektro koloběžky jsou novinkou a mnoho lidí si je oblíbilo, ale zároveň na druhou stranu mají mnoho kritiků a odpůrců. Jako nespornou výhodou takové elektro koloběžky je jistě rychlá a jednoduchá jízda, a to mnozí využívají především ve městě pro osobní přepravu. Mezi nevýhody elektro koloběžky a také důvody, proč se elektro koloběžkou ve své práci nezabývám, je dle mého názoru bezpečnost, a to už jak jezdce samotného, tak i jeho okolí v městském prostředí. Elektro koloběžka dokáže vyvinout poměrně vysokou rychlost (až 30 km/h) a vzhledem k pouhému stoji člověka na stupátku koloběžky bez dalších bezpečnostních ochranných prvků se může stát jízda velmi nebezpečnou. Dle zmíněného pouhého stání na stupátku pro mě osobně postrádá elektro koloběžka základní myšlenku jízdy na koloběžce – odrážet se a polo běžet. Tedy vyvinout vlastní fyzickou sílu k jízdě. Zároveň se v poslední době stále více setkáváme s ledabyly odhozenými komerčními koloběžkami na ulicích, které se stávají značnými překážkami pro obyvatele se sníženou schopností orientace a pohybu.

Klasické koloběžky můžeme rozdělit na dětské a dospělé. Dále pak nacházíme koloběžky městské, do přírody na výlety – silniční, offroad a offroad na sjezd, závodní nebo freestylové. Novinkami a skoro neznámými mezi koloběžkami je například koloběžka na dogscootering (se psem) nebo tzv. ledoběžka (na ledu).

Na českém trhu najdeme několik firem zabývajících se výrobou a vývojem koloběžek. Z těch větších a významnějších mohu zmínit firmy KOSTKA -kolobka s.r.o., INTREA – PIKO spol. s r.o. (koloběžky s názvem Yedoo), CRUSSIS electrobikes s.r.o., ULTIMA TRADING, s.r.o. (koloběžky s názvem Kickbike) nebo MIBO SCOOTERS s.r.o.

Po důkladné rešerši jsem upevnila své rozhodnutí zabývat se koloběžkou klasickou pro dospělé bez elektrického pohonu, a to především pro zachování původní myšlenky koloběžky – tedy skloubení činnosti jízdy a klusu a tím vyvinout k pohonu vlastní fyzickou aktivitu. Koloběžka bude určena pro dospělé do města a lehčího terénu, v přírodě pro rekreační jízdu.

3. Průběh tvorby

Jak jsem již zmínila, svou práci jsem začala rešerší. V rámci rešerše a zjištění odborných informací jsem navštívila plzeňskou prodejnu firmy KOLOBĚHsport, kde mi pan Václav Jun poskytl první užitečné informace, co se konstrukce a stavby koloběžek týká. Poskytl mi také doporučení na firmu MIBO SCOOTERS spol. s r.o. v Rožnově pod Radhoštěm. Díky tomu se po mé osobní návštěvě pan Rostislav Borák z této firmy stal jedním z hlavních konzultantů koloběžkové problematiky. Díky naší spolupráci jsem načerpala spoustu informací, které jsem využila při tvorbě.

Tvorba po rešerši a před první návštěvou firmy začala prvotními skicami a stanovením si pro koho koloběžka má být určena a co by měla splňovat. Svou koloběžku jsem zacílila pro dospělé jako městskou nebo vhodnou na výlety do lehčího terénu. To byla má první důležitá rozhodnutí, abych mohla pokračovat v práci. Dále jsem si již v této počáteční fázi vývoje stanovila, jaké materiály bych chtěla na koloběžce použít. Zamlouval se mi nápad dřevěné koloběžky, nebo alespoň použití dřevěných prvků jako doplněk kovové konstrukce koloběžky. Myslím si, že dřevo zažívá také v posledních letech velkou renesanci a po tzv. době plastové se vrací do výroby téměř čehokoliv. I díky elegantnímu vzhledu opracovaného dřeva a přírodnímu původu jsem se rozhodla tento krásný materiál zakomponovat do mé koloběžky a tím koloběžku odlišit od jiných vyráběných typů. V průběhu prvotního skicování a konzultování se ovšem ukázalo, že celodřevěná konstrukce nebude dostatečně funkční pro jízdu, a proto jsem začala přemýšlet o kombinaci materiálů v konstrukci (kovu a dřeva). Kovový rám zaručuje určitou pevnost, odolnost, funkčnost a životnost koloběžky. Dřevo pak kovové konstrukci dodá elegantní, zajímavý a originální vzhled.

a) Design, skici, vývoj tvaru

První skici zachycují první nápady kombinace zamýšlených materiálů (viz příloha 10a, 10b). Z těchto myšlenek následně vznikly první jednoduché náznakové počítačové modelace rámu koloběžky. Mou snahou bylo propojit dva tvary (objemy) a dva materiály, které si spolu dobře porozumí, vzájemně se doplní a tím vytvoří konstrukci hodnou té koloběžkové. Z počátku řešení tvaru konstrukce rámu jsem se zaměřila na krk koloběžky. To bylo pro mě důležité východisko k řešení konstrukce stupátka.

Tvary mě napadaly různé – část kružnice odsazená od předního kola, různě tvarovaná do tvarů písmen H (viz příloha 11a) nebo T (viz příloha 11b) kombinovaná s kovem nebo bez kovu (viz příloha 11c). Dále varianty lomeného tvaru na krku koloběžky – lomený tvar doplněný o příčky připomínající žebřík (viz příloha 11d) nebo doplněný podélným obloukem jako vzpěry, a to v různých polohách a variantách. Z dalších nápadů ze skic mohu zmínit jeden hlavní oblouk z nosníku dřevěného nebo kovového o různém průřezu. Další myšlenka vedla k rovnoběžným obloukovým, ať už dřevěným nebo kovovým, nosníkům umístěným nad či vedle sebe.

Svou inspiraci při hledání tvaru rámu jsem hledala i mezi přírodními motivy. Postupně pod tužkou vznikl tvar inspirovaný základem naší přírody, šroubovicí DNA. Tvar vycházející z části šroubovice DNA svými konkávními a konvexními oblouky mi zapadl do myšlenky propojit dva materiály – dřevo a kov. Tato kombinace na mě od prvních skic působí velmi elegantně, pevně, zároveň vzdušně a funkčně.

Kombinace dřeva a kovu v konvexním a konkávním oblouku mi přivedla myšlenky na další varianty. Skici mě naváděly, jak přesně budou oblouky vůči sobě umístěny a kde jeden a druhý budou začínat a končit. Jedna z variant, o které jsem přemýšlela, byla o obou obloucích dřevěných propojených kolmými příčkami podobně, jako najdeme i u molekuly DNA, kterou jsem se inspirovala. V další podobné variantě jsem přemýšlela o propojení dřevěných oblouků kusem plechu, do kterého by mohl být například vyříznut vzor či nápis. Postupně jsem se blížila ke svému závěrečnému návrhu, který se skládá z jednoho oblouku dřevěného a druhého kovového. Různě jsem materiály mezi horním a dolním obloukem kombinovala. Velmi se mi zamlouvala myšlenka jeden z oblouků zdvojit a mít tak dva oblouky stejného tvaru vedle sebe rovnoběžné a mezi nimi sevřený protioblouk. Opět se mi zde nabízely varianty, a to který z oblouků bude dřevěný nebo z kovu a který z oblouků zvolit tím „zdvojeným“. Nakonec se mi nejvíce líbila varianta zdvojeného horního konkávního oblouku, který je kovový a svírá dolní konvexní dřevěný oblouk (viz příloha 12a, 12b, 12c). Oblouky jsou do sebe zasazeny tak, aby se navzájem doplňovaly do tvarově ale i funkčně zdařilé konstrukce rámu koloběžky. Tuto variantu jsem nakonec zvolila.

V základním tvaru a vzájemném umístění oblouků jsem měla jasno, a proto jsem začala modelovat 3D model celé koloběžky a tím si představu ještě více upevnila (viz příloha 13a, 13b). To mi umožnilo dále řešit detaily na celém rámu. Především ukončení dvou hlavních

kovových nosníků, které jsem vyřešila spojením a obtočením obou nosníků okolo hlavové trubice. Celý tvar konstrukce rámu se tímto designovým prvkem uzavřel a vzhledově uhladil a začistil (viz příloha 13c).

Tvarově jsem také řešila další důležitou část rámu koloběžky, a to stupátko. Stupátko tvoří dva kovové rovnoběžné nosníky a dřevěná část uprostřed mezi nimi. Obě části stupátka jsou plynule napojeny na kovovou a dřevěnou část na krku koloběžky. Dřevěná část zde plní funkci hlavní stojné plochy a na zadní části stupátka se dřevo zvedá obloukem mírně nahoru, kde plní funkci opěrky pro druhou odrazovou nohu, aby se zabránilo doteku boty a kola. Kovové nosníky stupátka pak dále pokračují k zadnímu kolu a přechází do tvaru zadní vidlice. Celé stupátko je lehce prohnuto směrem dolů, a to především pro pohodlnější jízdu na koloběžce. Každé stupátko koloběžky někdy škrtně o zem a prohnutý tvar zaručí lehčí přejetí nerovností, kde koloběžka škrtně pouze o nejnižší bod stupátka. Dále se u stupátka v souvislosti s celou konstrukcí rámu řeší tzv. světlost koloběžky. To znamená, jak vysoko má koloběžka stupátko nad zemí, tudíž jak vysoko má jezdec stojnou nohu nad zemí a jak hluboké pak musí dělat dřepy pro dobrý odraz druhou nohu. S tím souvisí i vyčerpání fyzické síly jezdce. Čím výše stupátko nad zemí máme, tím děláme hlubší dřepy a tím jsme dříve při jízdě na koloběžce unaveni. Optimální výška stupátka nad zemí pro koloběžku do lehčího terénu je okolo 5 až 7 cm.

Barevné řešení koloběžky jsem přizpůsobila použitým materiálům a zachovala tak kontrast mezi dřevem a kovem. Dřevo má světlejší barvu dubového masivu a kovový rám je laděn do tmavší barvy, antracitové až černé. Barvy jsem vybrala také podle dostupných komponentů pro stavbu prototypu (viz příloha 15a, 15b, 15c), jsou ale i možné různé barevné varianty (viz příloha 16a, 16b, 16c). Celé barevné pojetí pak doplňuje grafický polep fólií na rámu koloběžky (viz příloha 17a, 17b).

b) Technické parametry a konstrukce

Poté, co jsem byla spokojená se základním návrhem tvaru rámu, bylo nutné si ujasnit technické parametry koloběžky pro zdárné pokračování v práci. Pro základní rozměry návrhu koloběžky jsem vycházela z rozměrů koloběžek konzultovaných u firmy MIBO, které mi byly poskytnuty při osobní návštěvě.

Koloběžka je navržena do města nebo do lehčího terénu v přírodě, na výlet. Tudíž bylo potřeba vybrat velikost kol, která by splňovala právě tyto účely využití. Zvolit kola s vhodnou velikostí pro lehkou manipulaci s koloběžkou ve městě, snadné vyhnutí se překážkám, nastoupení do dopravního prostředku městské hromadné dopravy nebo praktické pro uskladnění. Zároveň jsem chtěla dodržet, aby koloběžka splňovala požadavky i na menší výlet v přírodě, tudíž ujet větší vzdálenost bez velkého vyčerpání a únavy jezdce. Proto jsem zvolila velikost kol 20“, které výrobci doporučují jako horní mez rozměru kol pro městské koloběžky a zároveň na výlet do terénu jsou úplně ideální kvůli lepší setrvačnosti. Větší kolo ujede na jeden záběr větší vzdálenost.

Koloběžka má obě kola stejně velká. Je to tak výhodnější pro jízdu, neboť rozdílná velikost kol při jízdě například z kopce dostává koloběžku do smyku. Menší zadní kolo se otáčí rychleji než větší přední. Tato problematika se pak u určitých modelů řeší širší pneumatikou u menšího zadního kola.

Další velmi důležitý parametr koloběžky zejména pro její pevnost a tuhost je materiál rámu a celá jeho konstrukce. Jak jsem již zmínila, můj návrh se skládá ze dvou hlavních oblouků a ze dvou materiálů, kovu a dřeva. Konkávní oblouk tvoří kov a konvexní proti němu dřevo. Stupátko pak tvoří oba materiály zároveň.

Kovovou část rámu tvoří dva podélné oblouky na krku koloběžky z ocelových obdélníkových jechlů (ocelová trubka obdélníkového nebo čtvercového průřezu), které používá i firma MIBO a jejich koloběžky mají léty ověřenou funkčnost i životnost. Ocel oproti konkurencí používanému hliníku je pružnější a při případném lámání konstrukce má použitá ocel výraznou mez kluzu a tažnost. Ocel se láme jakoby pomaleji a lom má delší průběh. Hliníkový rám se rozlomí téměř okamžitě na kusy (nemá výraznou mez kluzu a větší tažnost). Pro spojení ocelových částí je nejvhodnější svar. Například při ostřejším úhlu ohybu materiálu (u koloběžky by se dalo využít pro napojení zadní vidlice ke stupátku) by došlo k výraznému ztenčení materiálu v ohybu a tím by bylo místo náchylnější ke zlomení. V tom je výhoda svařování, neboť je zachován průřez.

Dřevo jsem zakomponovala do konvexního oblouku, který je sevřen dvěma ocelovými. Dřevěný oblouk v blízkosti předního kola tak může plnit i funkci blatníku, ačkoliv je opačného

tvaru, než jsme u blatníků zvyklí. Dřevěná je i prostřední část stupátka mezi ocelovými nosníky. Dřevo na stupátku tvoří plochu pro stojnou nohu a zároveň u zadního kola tvoří opěrnou část na druhou volnou nohu.

Koloběžky, na rozdíl od jízdnicích kol, mají nevýhodu v otevřené konstrukci. Kolo má rám uzavřený do trojúhelníku, tím je rám mnohem pevnější. Aby se zachovala požadovaná pevnost rámu u koloběžky, je důležité konstrukci vyztužit v nejvíce rizikovém a namáhaném místě. Tímto místem je část, která je nejbližší k přednímu kolu, a spojuje se v tomto bodě krk a stupátko koloběžky. Toto místo vyztužíme například vyhnutím se ostrému úhlu a navržením konstrukce spíše s tupým úhlem, nebo přidáním přepony a vytvořením malé výztuhy trojúhelníkového tvaru v tomto místě s největší námahou. V mém návrhu je v tomto místě uvažována trojúhelníková výztuha a určité zpevnění konstrukce zajistí i dřevěný oblouk. Další výztuhy konstrukce rámu jsou ve stupátku a v krku koloběžky. Výztuhy tvoří příčky z pásoviny.

Pro koloběžku jsem se rozhodla použít kotoučové brzdy. Účinnost kotoučových brzd je větší a je potřeba k brzdám zvolit taky správný typ kol. Lanka brzd a jejich vedení jsou umístěny podél rámu v případě přední brzd. K zadní brzdě vede lanko uvnitř jeklů.

c) Analytický pevnostní výpočet

Technická část práce se týká výpočtu pevnosti a koeficientu bezpečnosti navrženého stupátka. Počítaná část rámu koloběžky je stupátko včetně zadní vidlice, přičemž se zanedbá úhel napojení mezi stupátkem a zadní vidlicí. Proto nosník uvažuji jako přímý na dvou podporách, na každém konci jedna. Rám je symetrický ze dvou rovnoběžných částí, tedy počítaný nosník bude obsahovat jeden průřez a bude zatížen poloviční silou, která působí uprostřed. Výztuhy a dřevo pro výpočet budou taktéž zanedbány.

Při výpočtu jsem si stanovila cíl spočítat koeficient bezpečnosti navrženého nosníku o daném průřezu zatíženém vahou dospělého člověka, tj. 100 kg. Vnější rozměry jeklu 25x25 mm zvoleného na základě návrhu se shodují s průřezem používaným firmou MIBO. Cílem výpočtu bylo ověřit správnost volby tloušťky stěny 1,5 mm.

Výpočet jsem začala vyšetřením velikostí reakcí R_a a R_b síly F v zatíženém nosníku o délce a (viz obr. 1), které jsem dále využila k výpočtu maximálního ohybového momentu M_{max} a následně k určení maximálního napětí σ_{max} v nosníku. V dalším kroku k určení koeficientu bezpečnosti

k zatíženého nosníku následovalo zvolit materiál jeklu a nalézt ve strojnických tabulkách (zdroj) hodnotu meze kluzu R_e a průřezovou charakteristiku v ohybu W_o pro daný rozměr čtvercového jeklu. Dále ze vzorce pevnostní podmínky jsem dopočítala požadovanou hodnotu koeficientu bezpečnosti k .

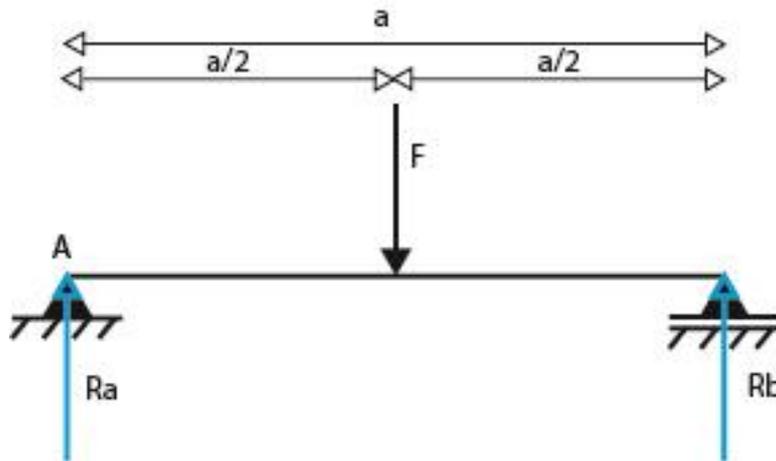
$$a = 750 \text{ mm}$$

$$R_e = 250 \text{ MPa}$$

$W_o = 946 \text{ mm}^3$ ocel 11320 tepelně nepracovanou pro jekl o rozměrech 25 x 25 x 1,5 mm

$m = 100 \text{ kg} \rightarrow F = m \cdot g = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ N}$, pro tento výpočet volíme poloviční sílu, tedy: $F = 500 \text{ N}$

$$k = ?$$



Obr. 1 Schéma pro výpočet

$$\sum_i F_{iy} = 0: \quad R_a - F + R_b = 0$$

$$\sum_i M_{iA} = 0: \quad R_b \cdot a - F \cdot \frac{a}{2} = 0$$

$$R_b \cdot a = \frac{F \cdot a}{2}$$

$$R_b = \frac{F}{2}$$

$$R_b = \frac{500}{2} = 250 \text{ N}$$

$$R_a = F - R_b = 500 - 250 = 250 \text{ N}$$

$$M_{0max} = \text{velikost reakce} \cdot \text{rameno} = Ra \cdot \frac{a}{2} = 250 \cdot 0,375 = 93,75 \text{ Nm} = 93750 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{0max}}{W_0} = \frac{93750}{946} = 99 \text{ MPa}$$

pevnostní podmínka: $\sigma_{max} \leq \sigma_D$ (max. napětí je menší nebo rovno dovolenému)

$$\sigma_{max} \leq \frac{R_e}{k} \rightarrow k = \frac{R_e}{\sigma_{max}} = \frac{250}{99} \cong 2,5$$

Koeficient bezpečnosti stupátka je 2,5, to znamená, že zvolené parametry jeklu, tj. 25 x 25 x 1,5 mm, dostatečně vyhovují požadovanému zatížení.

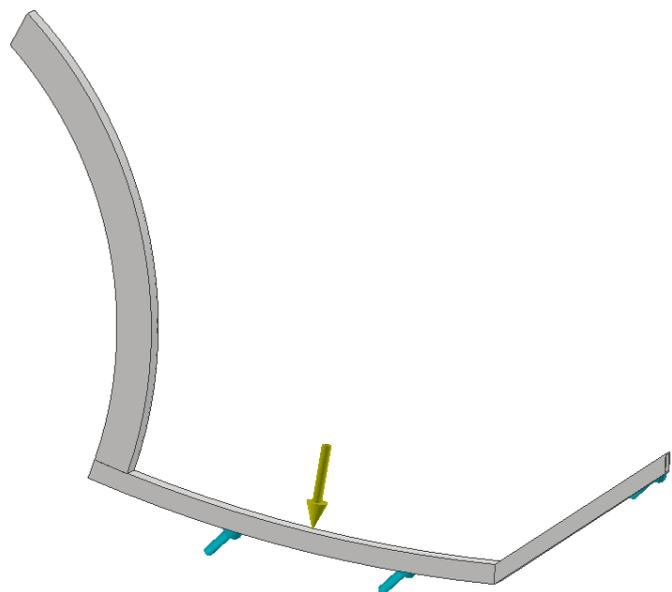
d) Výpočet metodou konečných prvků

Pevnostní výpočet rámu byl dále ověřen výpočtem metodou konečných prvků, tj. numerická metoda pro řešení problémů pružnosti a dynamiky. Tímto výpočtem jsem zjistila nejen napětí v rámu ale také průhyb konstrukce při zatížení.

Výpočet byl sestaven jako poloviční model rámu (viz obr. 2). Hlavním účelem byla kontrola pevnosti především v místech svarů a ověření vhodnosti zvolených výztuží.

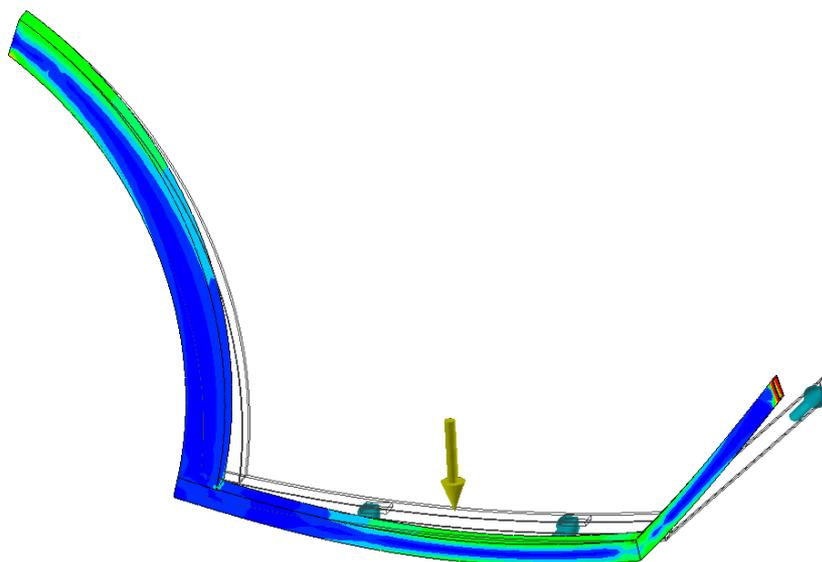
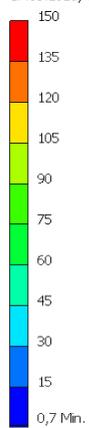
Okrajové podmínky výpočtu:

- Rovina symetrie, podepření v místě uložení kola a v místě uložení řídítek
- Zatížení silou 1500 N



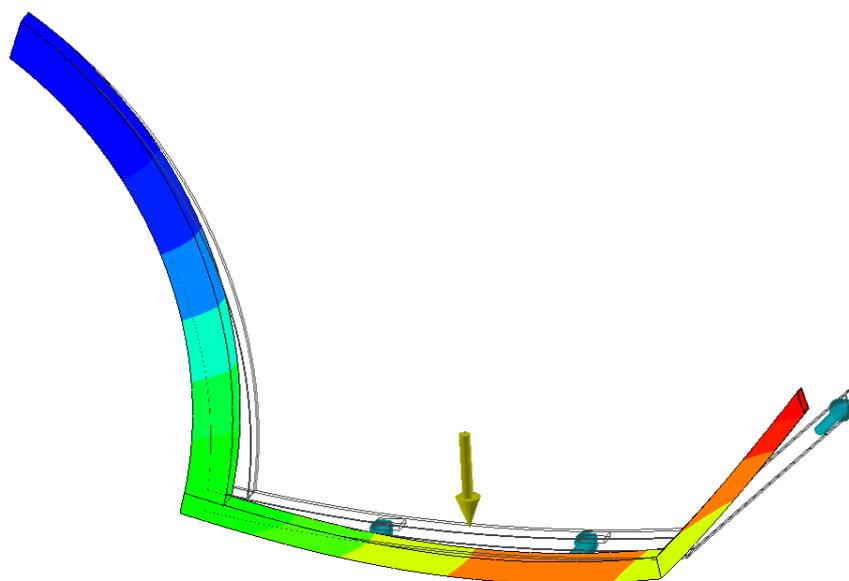
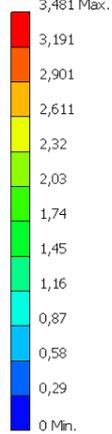
Obr. 2 Poloviční model rámu pro MKP

Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
17.05.2020, 0:49:56



Obr. 3 Výsledné hodnoty napětí

Typ: Posunutí
Jednotka: mm
17.05.2020, 0:52:23
3,481 Max.



Obr. 4 Výsledné hodnoty posunutí

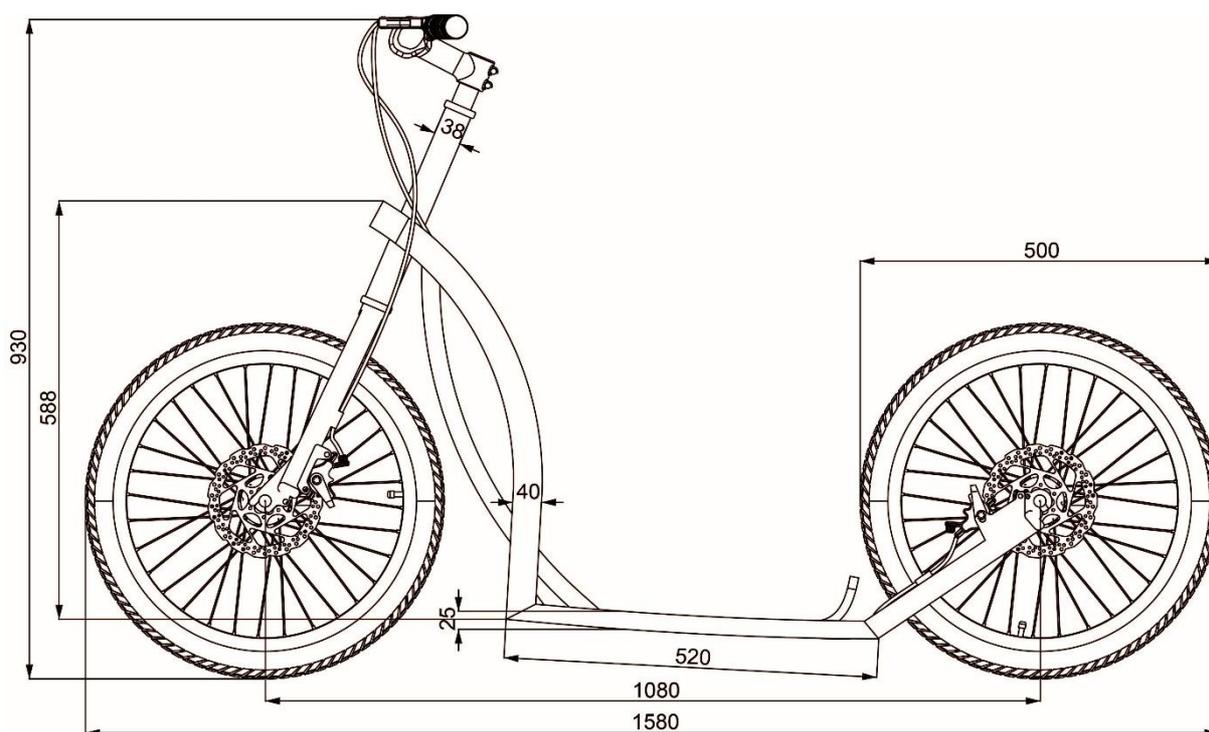
Z výsledných hodnot numerického výpočtu metodou MKP je patrné, že zvolený průřez jeklů rámu je dostatečný pro uvedené zatížení. Podle barevných výsledných hodnot napětí je patrné, že největší napětí v rámu je právě v místě, kde člověk na koloběžce stojí, tedy ve stupátku, a dále pak na začátku oblouku krku. Výsledné hodnoty napětí potvrdily jako nebezpečná místa napojení krku ke stupátku a napojení zadní vidlice ke stupátku. Proto v místě napojení krku ke stupátku bude přidána výztuha a v místě napojení zadní vidlice ke stupátku bylo zvoleno svařování, které zachovává průřez v namáhaném místě (oproti ohýbání). Nicméně toto maximální napětí v rámu není nijak velké a rám je i po zatížení dostatečně pevný.

Dále z hodnot posunutí rámu opět vidíme, že největší prohnutí nastane v místě, kde člověk na stupátku stojí a zároveň je to místo místem největšího napětí. Maximální prohnutí dosahuje necelých 3 mm, což je zanedbatelná hodnota. Červeně zbarvená místa na obou obrázcích výsledných hodnot jsou pro analýzu zatížení nepodstatná – jsou to místa uložení nosníku, v tomto případě upevnění rámu ke kolům koloběžky.

Analytický výpočet byl prováděn pro kontrolu navrženého stupátka, zda navržený jekl vyhovuje svými rozměry požadovanému zatížení. To ověřil vypočítaný koeficient bezpečnosti. Pro výpočet na papíře byla uvažována část rámu od stupátka po celou zadní vidlici a zatížení odpovídající dospělému člověku, tedy 100 kg. Správnost výsledku, zda je navržený nosník vyhovující, se ověřilo numerickým výpočtem, kde se zároveň kontrolovala pevnost celého rámu koloběžky a kritická riziková místa konstrukce popsána výše. Pro tento kontrolní výpočet se uvažoval celý rám od místa připevnění řídítek až po zadní vidlici u zadního kola a zvýšení zatížení větší silou, hmotností 150 kg. Tímto výpočtem bylo ověřeno, že rám koloběžky by měl bez problému vydržet i toto extrémnější zatížení.

e) Celkové rozměry výsledného návrhu

Koloběžka je na výšku 930 mm vysoká a na délku 1580 mm dlouhá. Rozvor kol je 1080 mm. Co se týče použitých jeklů, ty mají rozměry následovné. Jekl použitý na stupátko je o rozměru 25 x 25 x 1,5 mm a jekl použitý na krk koloběžky má rozměry 40 x 25 x 2 mm. Průměr hlavové trubky je 38 mm, od kterého se odvíjí šířka dřevěných prvků.



Obr. 5 Základní rozměrový výkres

4. Stavba a výroba prototypu

Už od začátku práce a první myšlenky o koloběžce bylo téměř jasné, že koloběžku vyrobím ve funkčním prototypu z reálných materiálů a komponentů v měřítku 1:1. Jakmile jsem měla ujasněný návrh a promyšlenou detailní podobu koloběžky, výroba mohla začít.

První důležitou fází stavby byl nákup veškerých potřebných součástí, s čímž mi velmi pomohli firmy MIBO SCOOTERS s.r.o. v Rožnově pod Radhoštěm a firma KOLOBĚHsport v Plzni. Dohromady jsem tak zakoupila od stupátka na mé přání ohnutého přes kompletní kola a brzdy po madla na řídítka. Podle skutečných rozměrů komponentů jsem domodelovala 3D model koloběžky v programu Rhinoceros 5 a následně vyrenderovala v programu Keyshot 7. Tím jsem si ověřila poslední detaily v konstrukci. To mi ale ukázalo i drobné nedostatky konstrukčního návrhu, které jsem tvarově ještě dále upravila. Především se jednalo o tvar dřeva na stupátku, aby nezasahoval do pláště zadního kola. Stejně tak jsem musela nepatrně poupravit přední dřevěný díl na krku koloběžky, aby byla dostatečná vůle mezi pláštěm kola a dřevem. Další tvarovou úpravou bylo přesněji a jednodušeji definovat z hlediska technologie výroby a ohybu oblouk krku koloběžky tvořený z jeklu. To znamenalo upravit tvar oblouku tak, aby ohyb obsahoval pouze jeden poloměr a dále pokračoval rovnou tečnou.

Poté, co jsem v počítačové podobě dovedla model koloběžky do finální podoby, byl zadán ohyb jeklů na krk koloběžky a svaření rámu. Během ohybu jeklů však nastaly problémy. Jekl o rozměru 40 x 25 x 2 mm se při ohybu bortil a normalizované dostupné nástroje na tuto problematiku nestačily. I opakované pokusy s vysypáním jeklu pískem se stále nedařily. Uvažovalo se tedy nechat vyrobit speciální rolny, které by zajistily, že by se už materiál neměl kam zbortit. Ovšem pro ohyb těchto dvou jeklů pro prototyp by byla výroba rolen příliš náročná. Tudíž byl zvolen postup, kdy se nechaly bokorysy ohnutého tvaru krku koloběžky vypálit z 2mm plechu na laseru a následně se vytvořily svařence do tvaru ohnutého jeklu. Je ale potřeba si zde uvědomit, že vyrobení svařenců a následné zabroušení svarů v hranách ubírá na pevnosti oproti ohnutému jeklu, kde by materiál zůstal všude v plné tloušťce. Na prototyp koloběžky toto řešení je postačující, na případnou sériovou výrobu by bylo zapotřebí a vyplatilo by se vyrobit přípravky.

Svařením z výpalků a plechu se také vyrobila část „obtočení jeklu“ okolo hlavové trubice.

Po svaření se rám nechal nalakovat a vypálit v práškové lakovně antracitovou barvu a bezbarvým zpevňujícím vrchním lakem.

Následovala domluva s truhlářem ohledně výroby dřevěných prvků. Původně jsem zamýšlela tyto části vyrobit slepením jednotlivých vrstev dýhy a zabrousit. Ovšem po konzultaci s truhlářem se ukázalo, že varianta frézování a vybroušení tvaru z polotovaru poslepovaného ze segmentů dubového masivu, bude pro výrobu prototypu vhodnější. Tuto variantu jsem vybrala především z důvodu jednodušší technologie, dostupného materiálu a kratšího času potřebného na výrobu. Dubový masiv jsem zvolila, jak už bylo řečeno, pro jeho světlý odstín a lepší a tvrdší materiálové vlastnosti. Dřevěné díly, které byly povrchově upraveny voskem, jsou do konstrukce rámu připevněny pomocí šroubů.

Posledním krokem bylo finální sestavení koloběžky a namontování veškerých součástí – hlavové složení, představec, řídítka, madla a kompletní sestavu kotoučových brzd.

Nejposlednější tečkou na prototypu koloběžky bylo umístění samolepek grafického polepu a loga, které byly vyříznuty na plotru z bílé samolepicí fólie.

5. Závěr

Téma mé bakalářské práce je design jednostopého dopravního prostředku, konkrétně jsem si vybrala koloběžku. Cílem mé práce bylo navrhnout koloběžku dle mých představ, která bude atraktivní svým vzhledem a bude zároveň funkční.

Svoji práci jsem začala krátkým nastudováním historie koloběžek. Pokračovala jsem vypracováním rešerše, abych zjistila, jaké koloběžky jsou dostupné na trhu a také jaké limity má samotná konstrukce rámu koloběžky. Vývoj designu mého návrhu jsem začala skicováním základního tvaru konstrukce. Během skicování jsem se inspirovala tvarem molekuly DNA a tak vznikl návrh na finální tvar složený z rovnoběžných oblouků postavených proti sobě. Zároveň jsem chtěla v konstrukci zkombinovat dva materiály, a to mi tvar podle DNA dobře umožnil. Vznikl tak jeden konvexní dřevěný oblouk sevřený dvěma konkávními kovovými oblouky. Kombinace obou materiálů tvoří i celé stupátko koloběžky.

Pro úplnost a funkčnost mého návrhu jsem provedla pevnostní výpočet stupátka, zda je zvolený navržený jekl 25 x 25 mm s tloušťkou stěny 1,5 mm dostatečně pevný. Vypočítaný výsledný koeficient bezpečnosti 2,5 ověřil, že navržený jekl vyhovuje zatížení dospělým člověkem o hmotnosti 100 kg. Pevnostní výpočet celé konstrukce byl zkontrolován metodou MKP.

Jako fyzický výstup mé práce jsem vyráběla funkční prototyp v měřítku 1:1 z reálných materiálů. Prototyp je vyroben z nakoupených komponentů, jako jsou kola, řídítka, brzdy atd. Hlavní svařovaná konstrukce z železných jechlů je doplněna o dva dřevěné kusy z dubového masivu.

Moje práce mě velmi bavila, a to od samého začátku až do konce, mnoho jsem se naučila nejen při řešení designu jako samotného tvaru, ale i při realizaci při skloubení tvaru návrhu s možnostmi technologií během realizace.

6. Seznam použité literatury

- [1] UHLÍŘ, Jaroslav a Zdeněk SVĚRÁK. *Písničky z pohádek a filmů*. Praha: Bambook, 2017. ISBN 978-80-247-5874-9.
- [2] KOSÍKOVÁ, Vendula. *Historické koloběžky. Staré, ale půvabné* [online]. 2018 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.yedoo.eu/cs/clanek/historicke-kolobezky-stare-ale-puvabne-5klL9l>
- [3] PILÁT, Dan a Jitka SLAVÍČKOVÁ. *Koloběžka – sto let historie* [online]. 2017 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.yedoo.eu/cs/clanek/kolobezka-sto-let-historie-64H4NY>
- [4] Koloběžka. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kolob%C4%9B%C5%BEka>
- [5] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-736-1111-8.
- [6] VRBKA, Martin a Michal VEVERKA. *Metoda konečných prvků* [online]. 2016 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: http://www.shigley.cz/images/texts/file/prednaska1_mkp.pdf
- [7] *The online bicycle museum: 1818/1819 Johnson's Ladies Walking Machine* [online]. [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://onlinebicyclemuseum.co.uk/18181819-2/>
- [8] *Kostka* [online]. [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.kostkakolobezky.cz/hill/780-kolobezka-kostka-hill-fun-kid-g5.html#img-1>
- [9] *Yedoo* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.yedoo.eu/cs/produkt/mezeq-0fVmNu>
- [10] *Svět koloběžek* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.svetkolobezek.cz/kolobezky-terenni/kolobezka-mibo-express/?v=2&kampan=gNakupy&gclid=CjwKCAjwiMj2BRBFEiwAYftbCs44>

89X1rPnjpnajCsk1eB2spWV0oRWIYxtryR_cm2zxK4eC1IHxCxoCGGsQAvD
BwE

- [11] *Mibo* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.mibo.cz/blog/revoo-i-cast>
- [12] *Pinterest* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/448248969158150160/>
- [13] *Let's kick* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://letskick.ru/novosti/2017/06/14/samokat-sredyi-102-futbayk-ot-fera>
- [14] *Behance* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: https://mir-s3-cdn-cf.behance.net/project_modules/disp/14140523380243.56322b8bc56cb.jpg
- [15] *SciTechDaily* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://scitechdaily.com/re-cracking-the-genetic-code-we-may-have-only-begun-to-scratch-the-surface/>

7. Resumé

The topic of my bachelor's thesis is the design of a single-track vehicle, I specifically chose a scooter. A scooter is a manoeuvrable means of transport and it is fit for ride in a town or in the countryside and also for ride recreationally or professionally. The aim of my work was to design a scooter according to my ideas, which will be attractive in appearance and will be functional at the same time.

Firstly, I started my work by briefly studying the history of scooters. Then I continued with a search to find out what scooters are available on the market and also what limits the construction of the scooter frame itself has.

I started developing of my design by sketching the basic shape of the structure. During sketching, I was inspired by the shape of the DNA molecule. At the same time, I made efforts to combine two materials in the construction of the kick bike. There is one convex wooden arch enclosed by two concave metal parallel arches in the basic shape of the construction. The combination of both materials also forms the footboard of the scooter. My final design was created like this.

Moreover, I performed the strength calculation of the footboard for completeness and functionality of my design. Specifically, it was necessary to check whether the selected jäckl is sufficiently safe for maximum load by 100kg adult human. The result of the calculation is that the selected jäckl having dimension 25x25mm is safe with its thickness 1,5mm. (because the resulting coefficient of safety is 2,5.) The strength calculation of the whole structure was checked by FEM method.

In the addition, I produced a functional prototype in a 1:1 scale from the real. The prototype is made from purchased components, such as a handlebar, wheels, tyres, disc brakes etc., and from welded metal jäckls that create the frame of the construction. The whole construction is complemented by two milled wooden pieces from oaken solid wood.

I really enjoyed my work. I learned a lot not only in solving the design as the shape itself, but also in the implementation of combining the shape of the design with the possibilities of technology during implementation.

8. Seznam příloh

Příloha 1

Johnson's Ladies Walking Machine, rok 1819. Předchůdce dnešního jízdního kola i koloběžky.

Příloha 2

Koloběžka od firmy KOSTKA - kolobka s.r.o. – inspirace, řešerše

Příloha 3

Koloběžka od firmy INTREA – PIKO spol. s r.o. – inspirace, řešerše

Příloha 4

Koloběžka od firmy MIBO SCOOTERS s.r.o. – inspirace, řešerše. Model Express, který byl východiskem svými rozměry pro můj návrh koloběžky.

Příloha 5

Koloběžka od firmy MIBO SCOOTERS s.r.o. – inspirace, řešerše. Speciálně na míru vyvinutý model závodní koloběžky s příčkou uprostřed mezi nohama jezdce.

Příloha 6

Koloběžka se dřevěným rámem Holz scooter – inspirace, řešerše

Příloha 7

Koloběžka z ruské dílny Самокат среды №102. Футбайк от Fera – inspirace, řešerše

Příloha 8

Koloběžka se zakomponovaným dřevěným dílem - inspirace, řešerše

Příloha 9

Molekula DNA – inspirace, řešerše

Příloha 10a

Vývojové skici

Příloha 10b

Vývojové skici

Příloha 11a

První jednoduché náznakové počítačové modelace rámu koloběžky

Příloha 11b

První jednoduché náznakové počítačové modelace rámu koloběžky

Příloha 11c

První jednoduché náznakové počítačové modelace rámu koloběžky

Příloha 11d

První jednoduché náznakové počítačové modelace rámu koloběžky

Příloha 12a

Vývojové skici – tvar inspirovaná molekulou DNA

Příloha 12b

Vývojové skici – tvar inspirovaná molekulou DNA

Příloha 12c

Vývojové skici – tvar inspirovaná molekulou DNA

Příloha 13a

Vývojové studie

Příloha 13b

Vývojové studie

Příloha 13c

Vývojové studie

Příloha 14a

Prezentační skici

Příloha 14b

Prezentační skici

Příloha 14c

Prezentační skici

Příloha 15a

Render prototypu

Příloha 15b

Render prototypu

Příloha 15c

Render prototypu

Příloha 16a

Barevné varianty

Příloha 16b

Barevné varianty

Příloha 17a

Grafický polep

Příloha 17b

Grafický polep

Příloha 18a

Fotografie prototypu

Příloha 18b

Fotografie prototypu

Příloha 18c

Fotografie prototypu

Příloha 18d

Fotografie prototypu

Příloha 18e

Fotografie prototypu

Příloha 1

Johnson's Ladies Walking Machine[7], rok 1819. Předchůdce dnešního jízdního kola i koloběžky.



Příloha 2

Koloběžka od firmy KOSTKA - kolobka s.r.o.[8] – inspirace, řešerše



Příloha 3

Koloběžka od firmy INTREA – PIKO spol. s r.o.[9] – inspirace, řešerše



Příloha 4

Koloběžka od firmy MIBO SCOOTERS s.r.o.[10]– inspirace, řešerše. Model Express, která byla východiskem svými rozměry pro můj návrh koloběžky.



Příloha 5

Koloběžka od firmy MIBO SCOOTERS s.r.o.[11] – inspirace, řešerše. Speciálně na míru vyvinutý model závodní koloběžky s příčkou uprostřed mezi nohama jezdce.



Příloha 6

Koloběžka se dřevěným rámem Holz scooter[12] – inspirace, rešerše



Příloha 7

Koloběžka z ruské dílny Самокат среды №102. Футбайк от Fera[13] – inspirace, řešení



Příloha 8

Koloběžka se zakomponovaným dřevěným dílem[14] – inspirace, rešerše



Příloha 9

Molekula DNA[15] – inspirace, rešerše



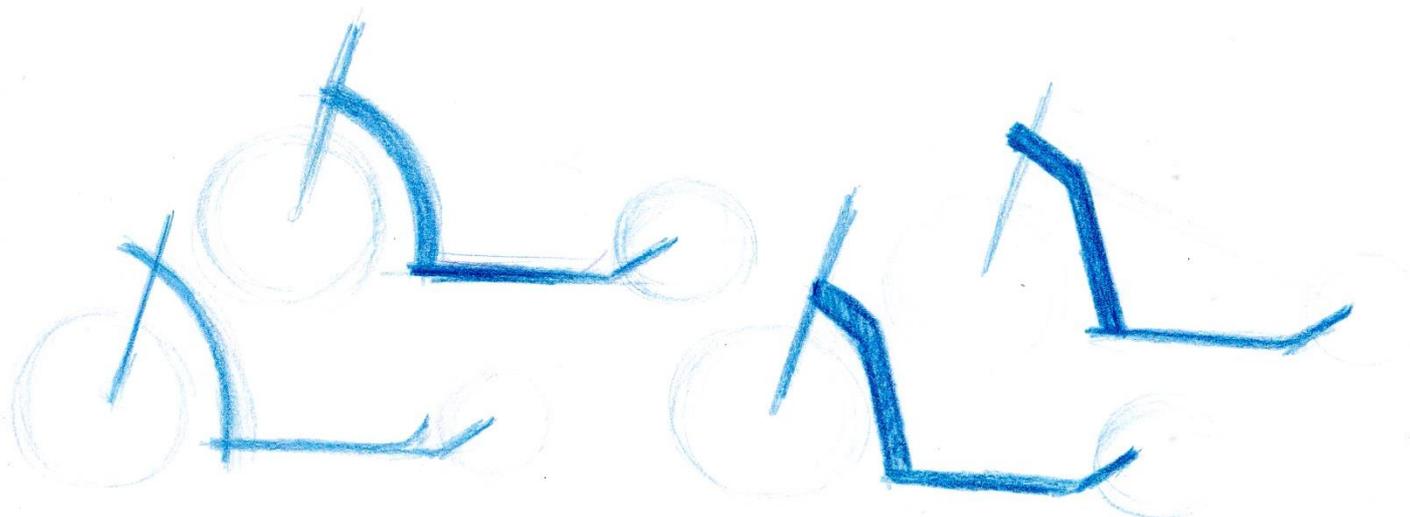
Příloha 10a

Vývojové skici



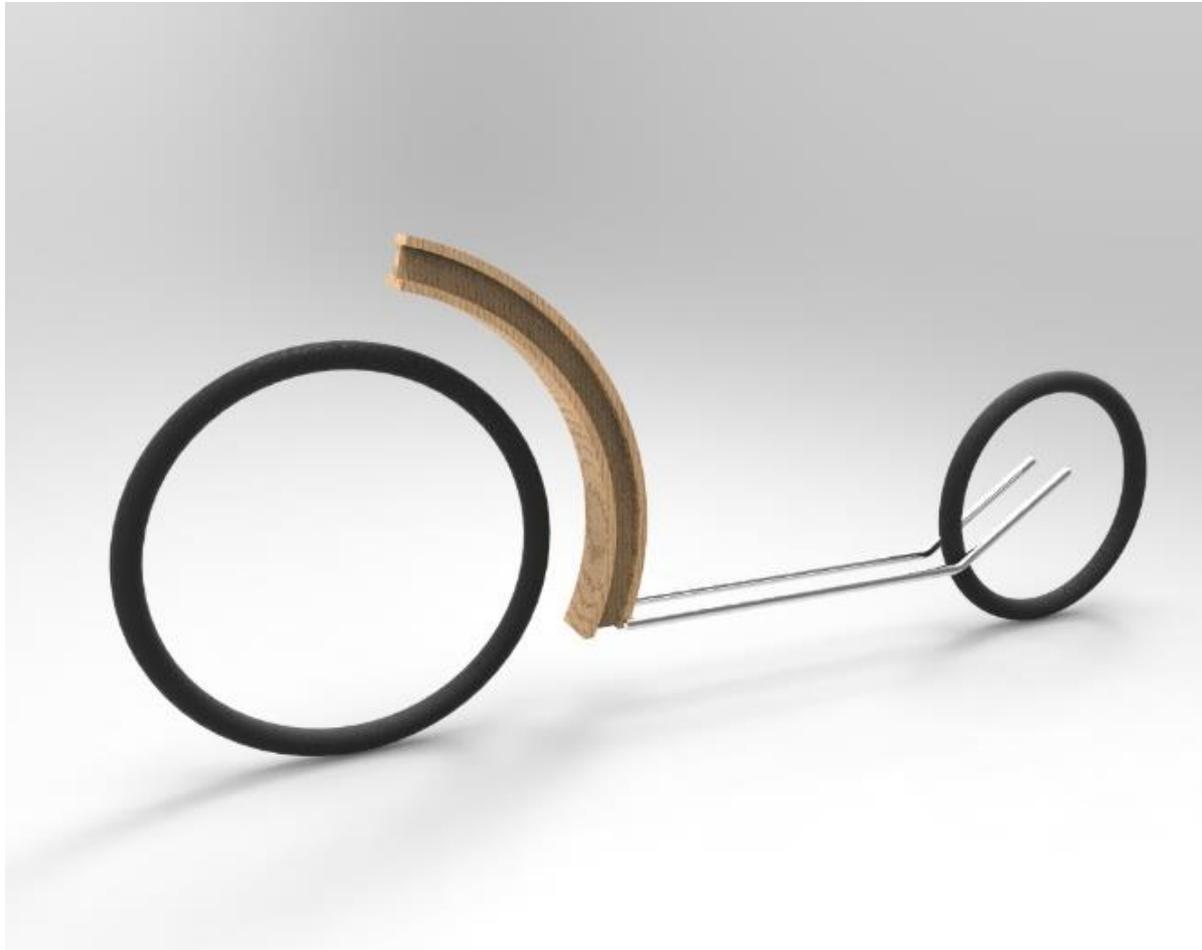
Příloha 10b

Vývojové skici



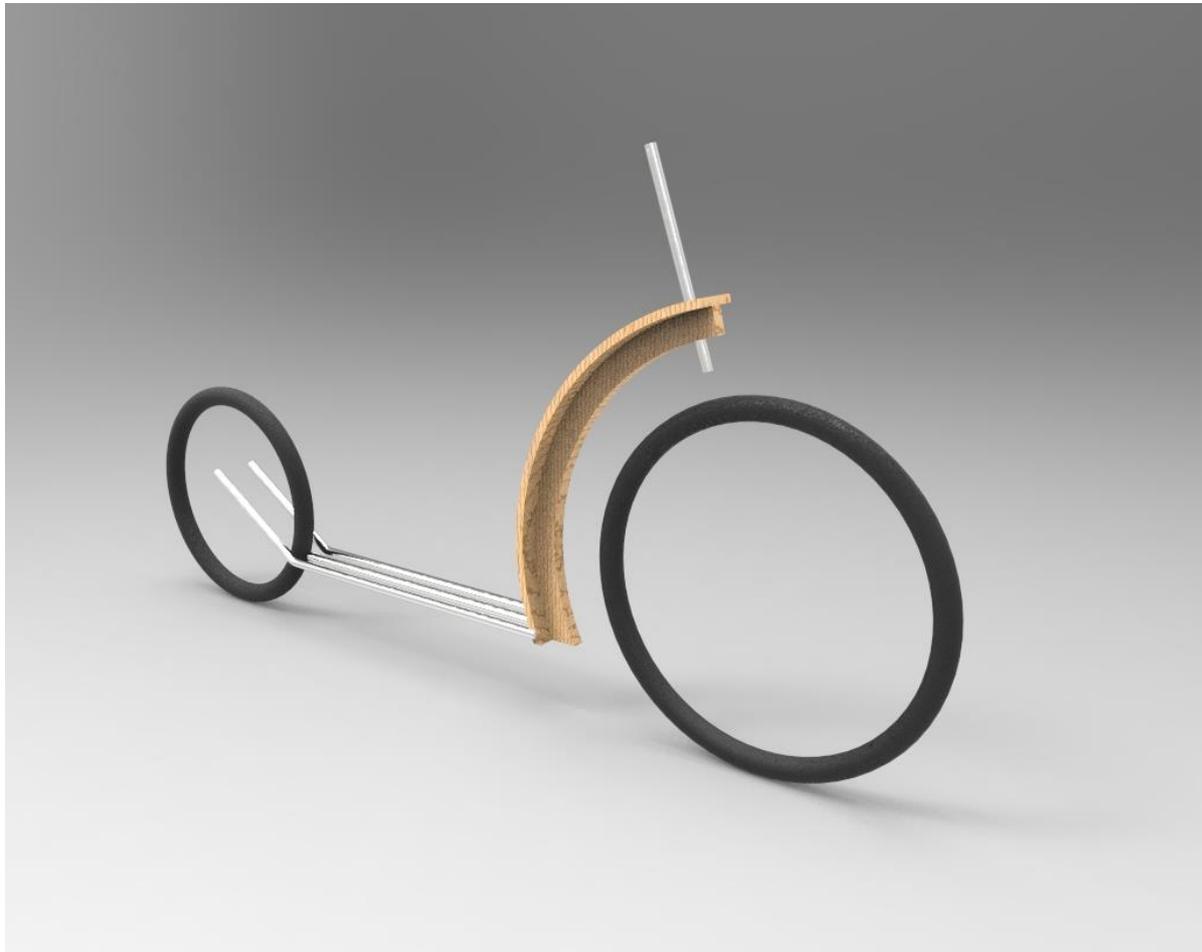
Příloha 11a

První jednoduché náznakové počítačové modelace rámu koloběžky



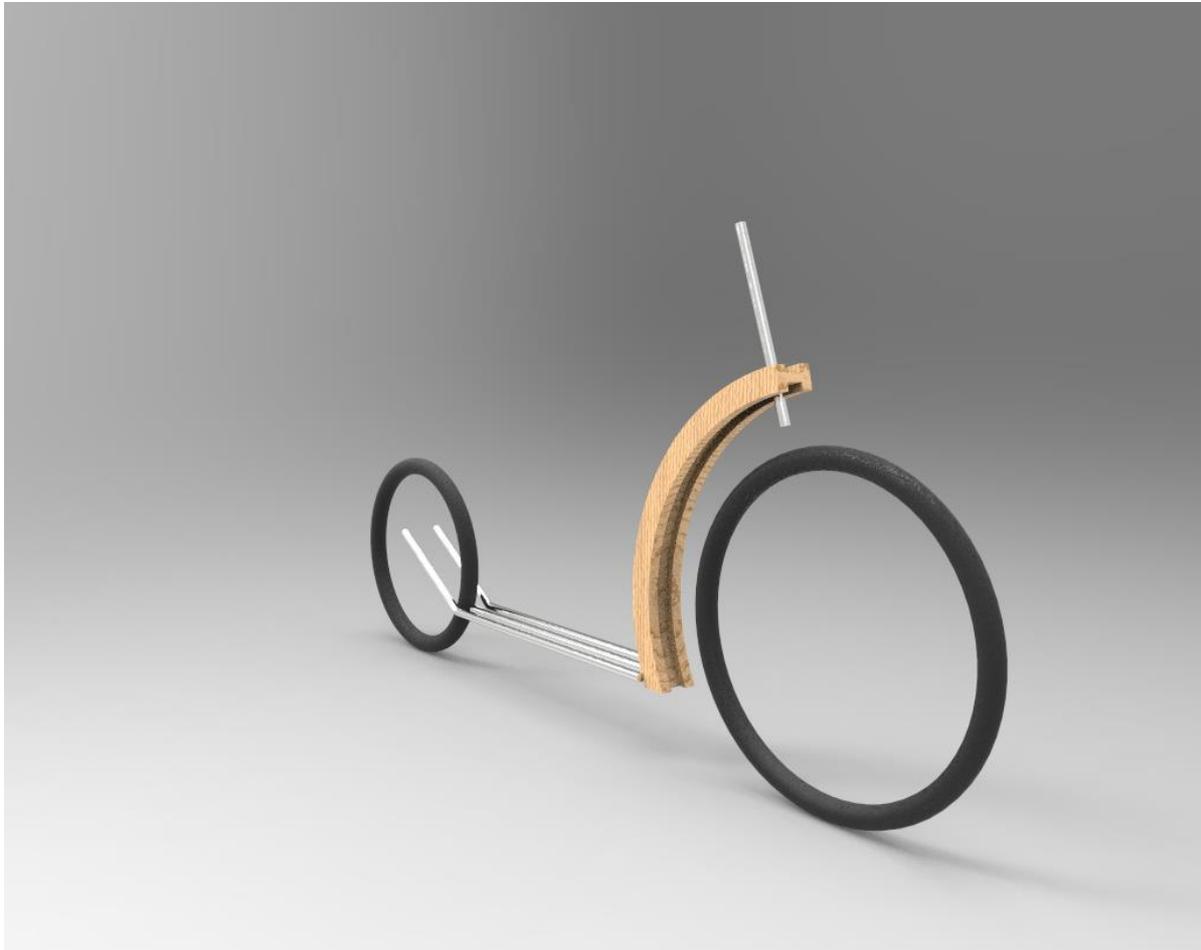
Příloha 11b

První jednoduché náznakové počítačové modelace rámu koloběžky



Příloha 11c

První jednoduché náznakové počítačové modelace rámu koloběžky



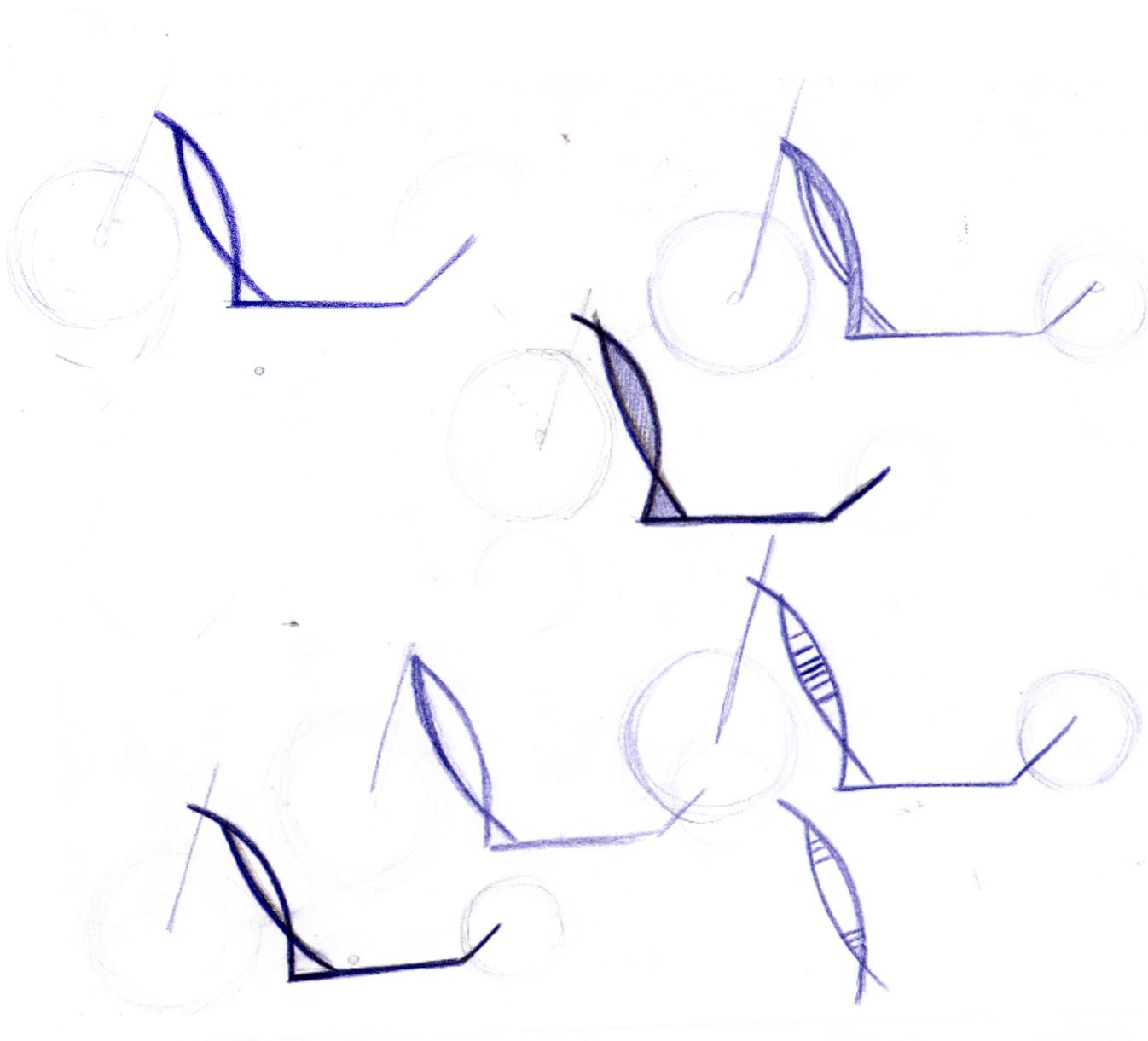
Příloha 11d

První jednoduché náznakové počítačové modelace rámu koloběžky



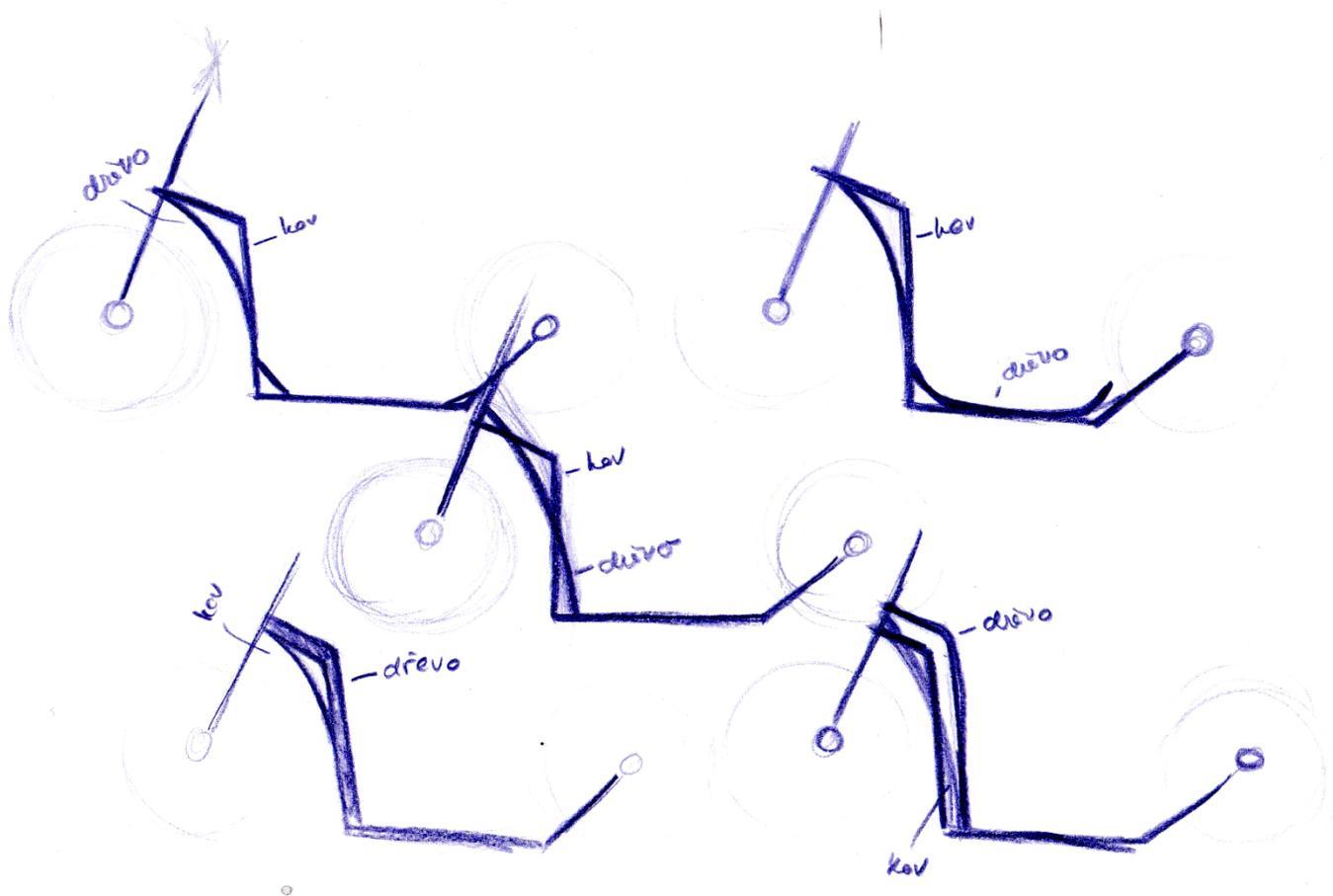
Příloha 12a

Vývojové skici – tvar inspirovaná molekulou DNA



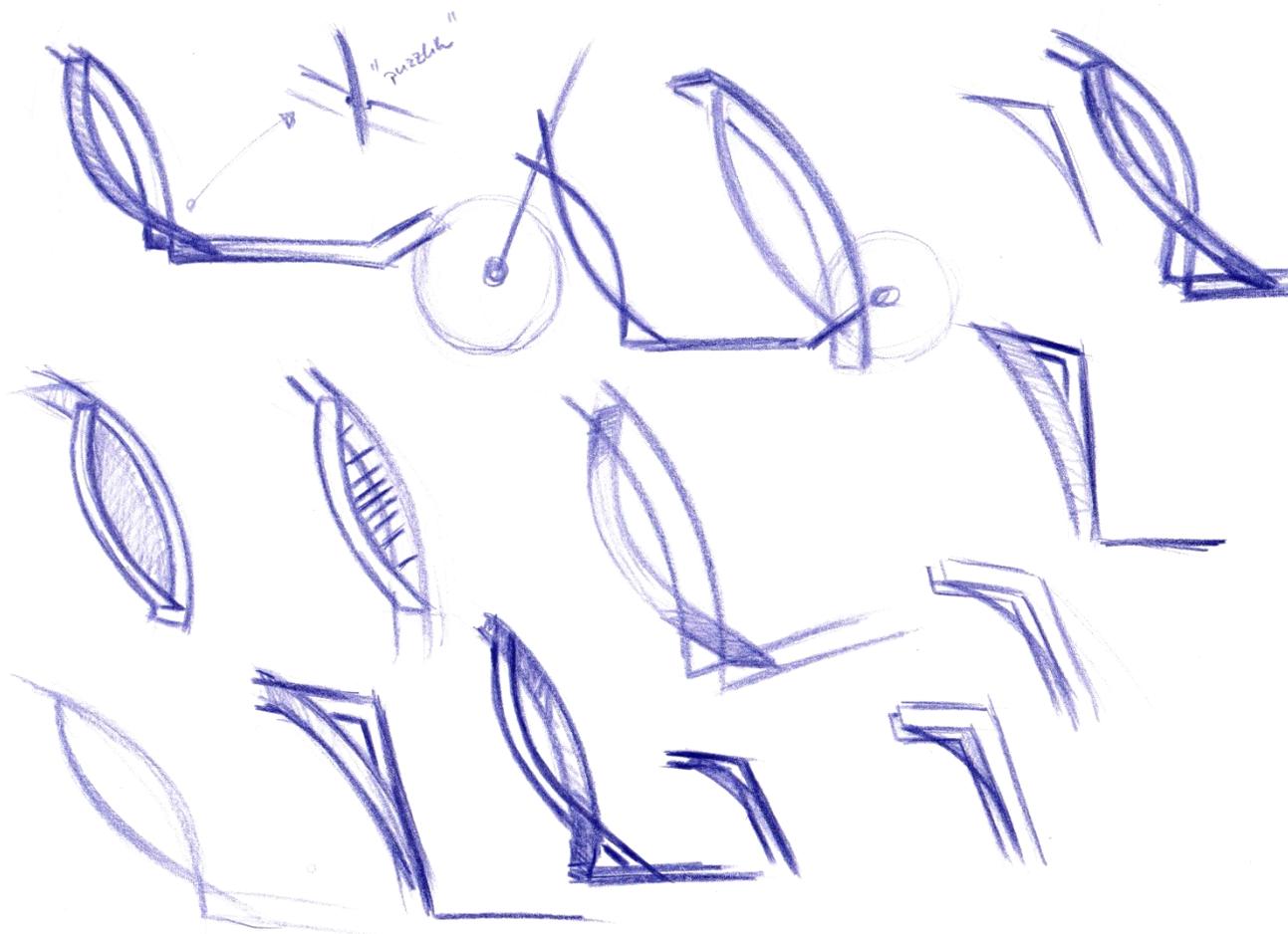
Příloha 12b

Vývojové skici – tvar inspirovaná molekulou DNA



Příloha 12c

Vývojové skici – tvar inspirovaná molekulou DNA



Příloha 13a

Vývojové studie



Příloha 13b

Vývojové studie



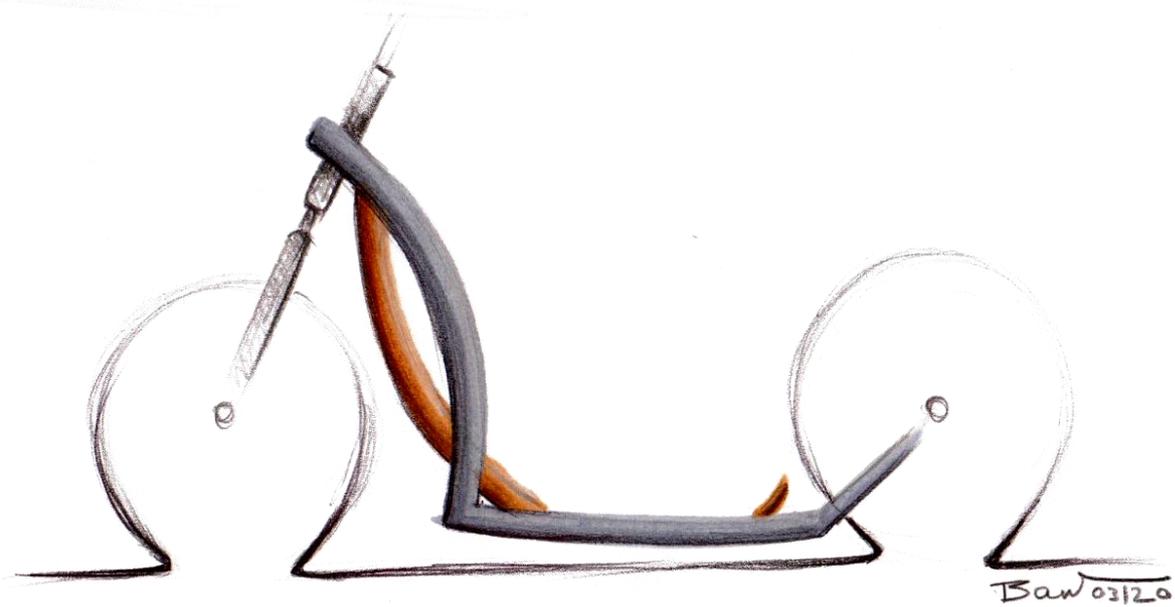
Příloha 13c

Vývojové studie



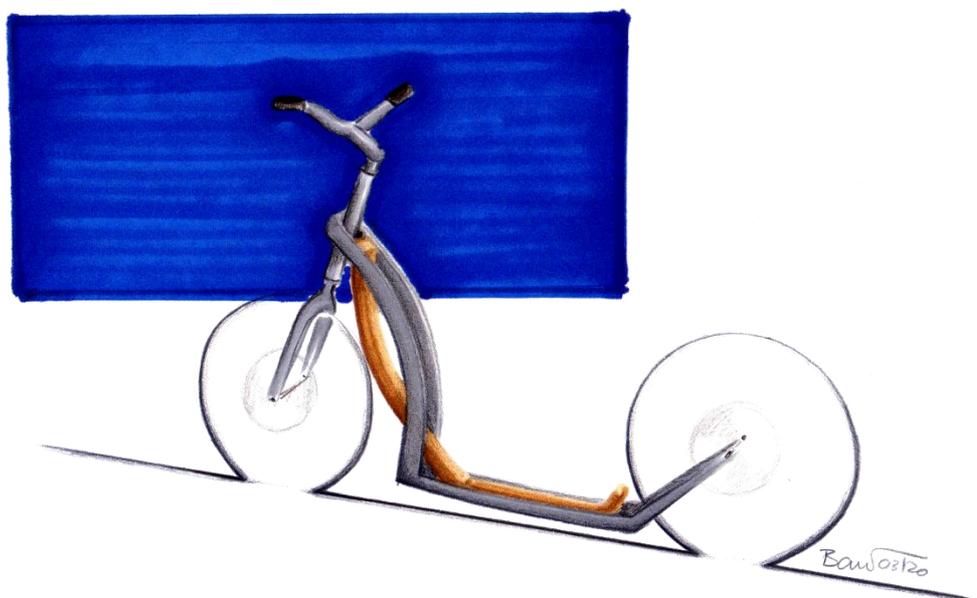
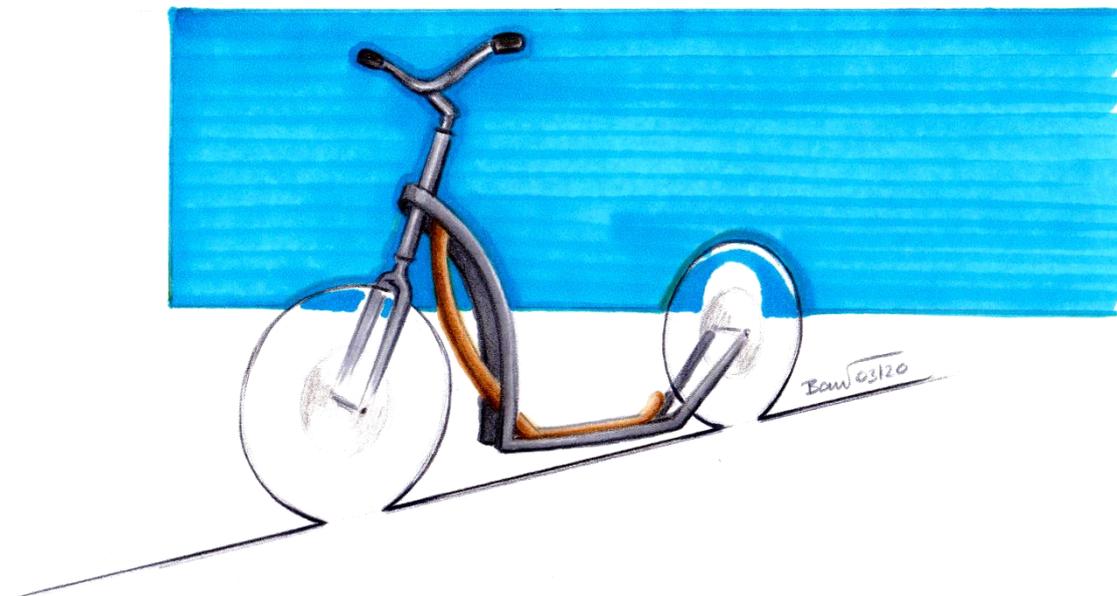
Příloha 14a

Prezentační skici



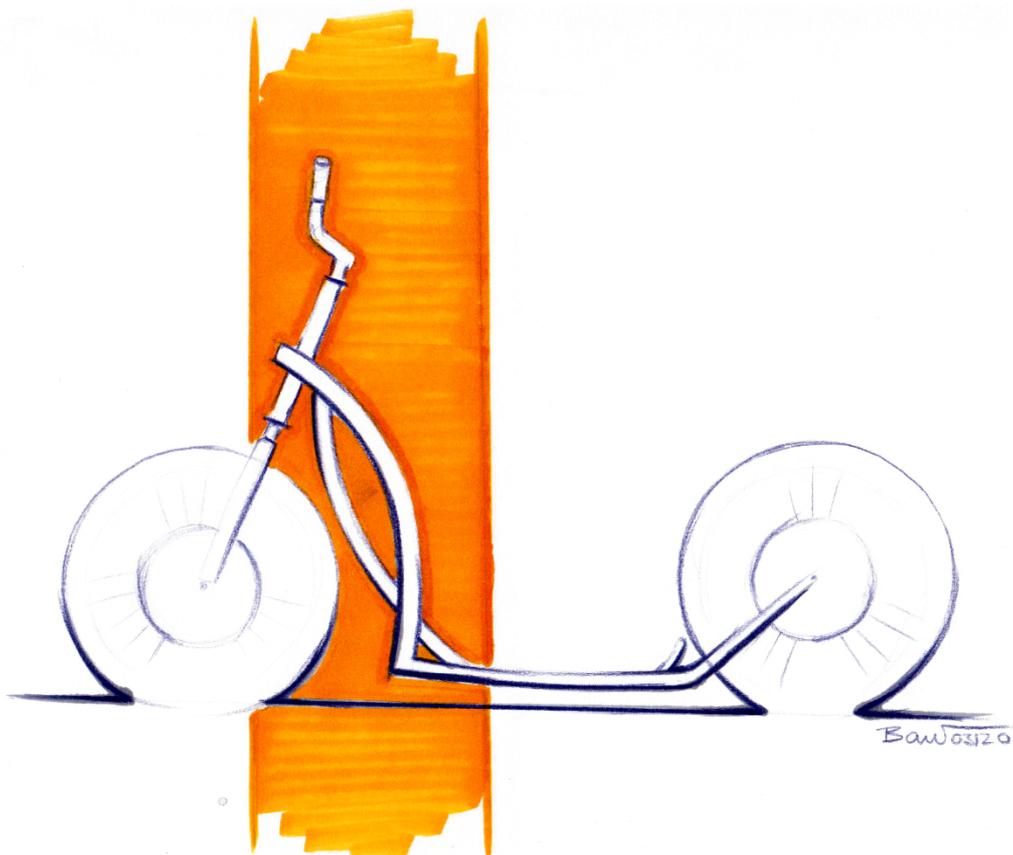
Příloha 14b

Prezentační skici



Příloha 14c

Prezentační skici



Příloha 15a

Render prototypu



Příloha 15b

Render prototypu



Příloha 15c

Render prototypu



Příloha 16a

Barevné varianty



Příloha 16b

Barevné variant



Příloha 17a

Grafický polep



Příloha 17b

Grafický polep



Příloha 18a

Fotografie prototypu



Příloha 18b

Fotografie prototypu



Příloha 18c

Fotografie prototypu



Příloha 18d

Fotografie prototypu



Příloha 18e

Fotografie prototypu

